

Konzeption und Realisierung einer webbasierten Lernumgebung für die Signal- und Mustererkennung

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktoringenieur (Dr.-Ing.)

vorgelegt
der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik
der Technischen Universität Ilmenau

von Dipl.-Ing. Sylvia Bräunig

Gutachter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. H.-U. Seidel
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. K. Zimmermann
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dr.h.c. F. Palis

Tag der Einreichung: 04.10.2005

Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 06.10.2006

If the human brain were so simple
that we could understand it,
we would be so simple
that we couldn't.

Emerson Pugh

Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit stellt sich der Herausforderung nach einer flexibel einsetzbaren, praxisverbundenen Lehrsoftware für die Signal- und Mustererkennung mit dem Kernanliegen, die Organisation und Durchführung eines virtuellen, webbasierten Praktikums zu ermöglichen. Dazu wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Konzept für eine web- und browserbasierte Lernumgebung „Virtuelles Praktikum für die Signal- und Mustererkennung“ (vPSM) entwickelt und prototypisch realisiert. Im Zentrum der Arbeit stand die Konzeption und prototypische Implementierung von interaktiven Bedienelementen – den virtuellen Geräten, die sich kontextunabhängig sowohl für die Durchführung von Praktika, für das Selbststudium - auf der Basis selbstgesteuerten, explorierenden Lernens - und zur Ergänzung der Lehrveranstaltungen einsetzen lassen. Ausgehend von den lerntheoretischen Grundlagen, den Grundlagen computerunterstützter Lernumgebungen, der „State-of-the-Art“-Analyse, den fachspezifischen Anforderungen und der aktuellen Ausgangssituation am Fachgebiet wurde ein Konzept für eine Lernumgebung für die Signal- und Mustererkennung entwickelt. Dabei wurde speziell auf die didaktische Konzeption, verschiedene Strukturierungskonzepte bezüglich der thematischen Stoffaufteilung und bezüglich der Bearbeitungsabfolge eingegangen. Ein besonderes Augenmerk wurde auf die Konzeption der virtuellen Geräte, die verschiedenen Nutzeraktionsformen und die Aufgabenkonzeption gelegt. Bei der Entwicklung und Implementierung, speziell der interaktiven Geräte, war ausschlaggebend, dass die Interaktivität der Lernobjekte ein entscheidendes Qualitätskriterium des Lernens bzw. einer Lernumgebung ist. Ergänzt wird die Lernumgebung durch die Bereitstellung vorlesungs- und übungsergänzender Lehrinhalte, interaktiver Experimentierumgebungen, Aufgaben- und Informationssammlungen und Hilfesysteme. Sie stellt gleichzeitig vielfältige Schnittstellen zur Verfügung, um Ergebnisse aus weiterführenden wissenschaftlichen Arbeiten zu implementieren. Durch die Integration des Computer-Algebra-Systems Mathematica über eine Java-API steht ein mächtiges Werkzeug für die mathematischen Operationen und die Erzeugung verschiedenster Präsentationsmöglichkeiten (auditiv, visuell) zur Verfügung. In Zusammenhang mit der Beschreibung der technischen Realisierung wird ein Einblick in die verwendeten Technologien, die datenbankbasierten Funktionen (Rollen- und Aufgabenkonzept) und die Integration der mathematischen Werkzeuge gegeben. Mit einer Diskussion der erreichten Ergebnisse und Überlegungen zu Weiterentwicklungen der Lernumgebung vPSM schließt die Arbeit ab.

Abstract

The present paper concentrates on a learning software for signal and pattern recognition which is flexible in use and practically oriented. The main goal of such software is to organize and realize virtual, web-based practical trainings. In order to achieve this goal, a concept for a web and browser-based learning environment called “Virtual Laboratory for Signal and Pattern Recognition” (vPSM) is developed and prototyped within the framework of this paper. The main focus of the present paper is developing a concept for and implementing a prototype of interactive and virtual devices which can be used to hold practical trainings, for self-study based on self-controlled and explorative learning, and to enhance lectures. A learning environment for signal and pattern recognition is conceptualized based on the fundamental learning theory, on the essentials of computer supported learning environments, on the state-of-the-art analysis, on the field specific demands, and on the current situation of the institute. Special attention is given to the didactics, to various structural aspects regarding topic distribution, and to the order in which the topics are to be worked on. The primary focus here is placed upon conceptualizing the virtual devices, the different user actions, and the tasks. The absolute mark of quality for learning and for a learning environment is that the learning objects are interactive. This factor is decisive for developing and implementing especially the interactive devices. The learning environment is augmented by the availability of learning content to supplement lectures and exercises, by interactive experimental surroundings, by a collection of exercises and information, and by help systems. At the same time, various interfaces are available to implement results from continuing scientific work. By integrating the computer algebra system “Mathematica” via a Java-API, a powerful tool for mathematical operations and for creating manifold types of presentations (auditory, visual) is also available. When the technical realization is described, an insight is given into the technologies used, into the database based functions (role and task concept), and into the integration of the mathematical tools. The present paper concludes with a discussion regarding the obtained results and the considerations regarding the further development of the learning environment vPSM.

Vorwort

Die vorliegende Dissertationsschrift entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Fachgruppe Signal- und Mustererkennung am Fachgebiet Grundlagen der Elektrotechnik der Technischen Hochschule Ilmenau.

Mein besonders herzlicher Dank gilt meinem akademischen Lehrer und Doktorvater, Herrn Prof. Dr. Ing.-habil. H.-U. Seidel, der diese Arbeit angeregt, betreut und begutachtet hat. Das von ihm entgegengebrachte Vertrauen, die hervorragende Arbeitsatmosphäre und der persönliche Freiraum an seinem Lehrstuhl haben wesentlich zum Gelingen der Arbeit beigetragen.

Besonders wertvoll für das Entstehen der Arbeit war auch die sehr angenehme Zusammenarbeit mit den Kollegen am Fachgebiet Grundlagen der Elektrotechnik. In diesem Zusammenhang danke ich insbesondere den Herren Prof. Dr.-Ing. habil. E. Wagner, Dr.-Ing. Finsterbusch und Dr.-Ing. P. Burger. Für die anregenden Diskussionen gilt mein Dank auch Frau Dipl.-Ing. Vera Yakimchuk.

An dieser Stelle danke ich auch Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. K. Zimmermann für die Übernahme des Gutachtens und Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Dr.h.c. F. Palis für die Übernahme des externen Gutachtens.

Einen bedeutenden Anteil am Gelingen dieser Arbeit hat mein Mann Steffen, dem ich hier herzlich danken möchte. Er hat mir nicht nur privat den Rücken freigehalten hat, sondern stand mir jederzeit fachlich mit Rat und Tat zur Seite. Mein besonderer Dank gilt auch meinem Bruder Leif –Peter für die konstruktive Kritik und Korrekturvorschläge zu meiner Arbeit.

Ilmenau, im Oktober 2005

Sylvia Bräunig

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Aktuelle Situation und Motivation	1
1.2	Ein kurzer Blick zurück.....	3
1.3	Ziel und Inhalt der Arbeit.....	5
2	Grundlagen	7
2.1	Allgemeine Begriffserläuterungen	7
2.1.1	Multimedia.....	7
2.1.2	Interaktion und Interaktivität	9
2.1.3	Simulation und Simulationssysteme	12
2.1.4	Virtualität, Virtual Labs und Remote Labs.....	14
2.2	Lernparadigmen, Lernziele, Lernzielkontrolle.....	16
2.2.1	Grundfragen des Lernens	16
2.2.3	Lernzielkontrolle und Feedback	21
3	Stand der Technik	24
3.1	Einsatz und Verbreitung von Lernsoftware.....	24
3.2	Mathematische und datenverarbeitende Softwaresysteme für die Ingenieur- ausbildung	31
3.3	Umfeld einer Lernumgebung für die Signal- und Mustererkennung.....	36
3.3.1	Inhalte und Ziele der Signal- und Mustererkennung	36
3.3.2	Fachlich bedingte Anforderungen an die Datenrepräsentation.....	39
3.3.3	Ausgangssituation und bisherige Erfahrungen	41
3.4	Zusammenfassung	42
4	Konzeption und Entwurf einer Lernumgebung für die Signal- und Mustererkennung	45
4.1	Anforderungen und Entwicklungsgrundlagen.....	45
4.1.1	Didaktisches Konzept	45
4.1.2	Die Lernumgebung für die Signal- und Mustererkennung	47
4.1.3	Einsatz-Szenarien.....	48
4.1.4	Zusammenfassung.....	50
4.2	Strukturierungskonzepte innerhalb der Lernumgebung	51
4.2.1	Inhalte und Aufteilung des Stoffgebietes in Themenkomplexe.....	51
4.2.2	Gliederung innerhalb der Themenkomplexe	53

4.3	Komponenten und Nutzeraktionsformen der Lernumgebung	57
4.3.1	Seitenaufbau und allgemeine Navigation	57
4.3.2	Komponenten und Aktionsformen.....	58
4.3.3	Auswertemöglichkeiten	62
4.3.4	Drucken aus der Lernumgebung.....	63
4.4	Konzept und Realisierung der virtuellen Geräte	64
4.4.1	Rahmenbedingungen beim Entwurf der virtuellen Geräte	65
4.4.2	Der Funktionsgenerator	68
4.4.3	Der Signalanalyser	70
4.4.4	Virtuelle Geräte im Einsatz.....	72
4.5	Aufgabenkonzeption	73
4.5.1	Themenkomplexe und Teilaufgaben.....	73
4.5.2	Konzept und Layout der Aufgaben.....	76
4.5.3	Aufgaben bearbeiten	78
5	Technische Realisierung der Lernumgebung	82
5.1	Anforderungsanalyse und Technologieauswahl.....	82
5.2	Systemarchitektur	86
5.2.1	Gesamtüberblick	86
5.2.2	Web-Frontend	88
5.2.3	Programmsteuerung	89
5.2.4	Datenbank	89
5.3	Kernmodule	90
5.3.1	Integration von Mathematica	91
5.3.2	Datenstrukturen und -verwaltung	97
5.3.3	Dynamische Erzeugung der Bild- und Audiodaten	103
5.3.4	Generischer Ansatz zur Erzeugung der Aufgabenseiten	106
6	Zusammenfassung	109
	Literaturverzeichnis	115
	Anhang A.....	125
	Anhang B.....	129
	Anhang C.....	134

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1	Schematisches Lernmodell und wichtige Vertreter des Behaviorismus.....	17
Abbildung 2.2	Schematisches Lernmodell und wichtige Vertreter des Kognitivismus	18
Abbildung 2.3	Schematisches Lernmodell und wichtige Vertreter des Konstruktivismus	20
Abbildung 3.1	Zuordnung verwandter Arbeiten	30
Abbildung 3.2	Aufbau eines Signalverarbeitungssystems	37
Abbildung 3.3	Lehrinhalte der Signal- und Mustererkennung	38
Abbildung 3.4	Grafische Datenrepräsentation	40
Abbildung 4.1	Beispiel interaktiver Dokumente für die Übungen in Form von Mathematica- Notebooks (Quelle: Dr. P. Burger, Seminar: Grundlagen der Signalerkennung).....	46
Abbildung 4.2	Übersicht über Einsatz-Szenarien und Komponenten der Lernumgebung.....	49
Abbildung 4.3	Zuordnung der Ausbildungsinhalte zum Signalverarbeitungssystem	52
Abbildung 4.4	Virtuelle Räume der Lernumgebung vPSM	53
Abbildung 4.5	Bildschirmeinteilung der Lernumgebung.....	57
Abbildung 4.6	Schema der Informationsseiten und ihrer Verknüpfungen.....	59
Abbildung 4.7	Algorithmen der Signalverarbeitungskette mit zugehörigen virtuellen Geräten	66
Abbildung 4.8	Der Funktionsgenerator als virtuelles Gerät	69
Abbildung 4.9	Der Signalanalyser als virtuelles Gerät mit der Darstellung von vier Zeitsignalen in je einem Koordinatensystem und einem Summensignal aus zwei Sinussignalen...	71
Abbildung 4.10	Ausschnitt Signalanalyser: Anzeige von 2 Zeitsignalen im gemeinsamen Koordinatensystem (Multi-Signal-View)	72
Abbildung 4.11	Ausschnitt Signalanalyser: Anzeige von 5 Spektren in je einem Koordinaten- system (Single-Signal-View).....	72
Abbildung 4.12	Beispiele für sprachgesteuerte Erkennungssysteme	74
Abbildung 4.13	Layout der Teilaufgaben und der Aufgabeneinheiten	77
Abbildung 4.14	Aufgabenbeispiel „Schwebung“	79
Abbildung 4.15	Erzeugung eines 440 Hz-Sinussignals mit dem Funktionsgenerator.....	80
Abbildung 4.16	Berechnung der Schwebung mit dem Signal-Analyzer.....	81
Abbildung 5.1	Das MVC-Konzept im Request-Response-Zyklus nach [Niedermeier, 2004].....	86
Abbildung 5.2	Gesamtüberblick über die Systemarchitektur der Lernumgebung vPSM	87
Abbildung 5.3	Schematische Darstellung der Anbindung von Mathematica und der Datenbank	90
Abbildung 5.4	Das JavaBean "MathWrapper"	95
Abbildung 5.5	Schema der Signaldaten-Tabellen mit Beispielen	100
Abbildung 5.6	Übersicht der logischen Verknüpfung der Aufgabentabellen	101
Abbildung 5.7	Schematische Darstellung der Datenbank-Tabellen	102
Abbildung 5.8	Aktivitäten bei der Bild- und Tongenerierung.....	105
Abbildung 5.9	Schema der Aufgaben-Tabellen mit Beispielen	107
Abbildung 5.10	Beispiel einer Aufgabeneinheit	108

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1	Übersicht Virtual Lab versus Remote Lab	15
Tabelle 2.2	Fragemethoden und Antwortmöglichkeiten	22
Tabelle 4.1	Exemplarische Inhalte aus dem Informationspool	54
Tabelle 4.2	Eingabeparameter des Funktionsgenerators	69
Tabelle 4.3	Auswahl von Bearbeitungsschritten zur Ableitung von Teilaufgaben für den Entwurf eines Spracherkennungssystems.....	75
Tabelle 4.4	Übersicht möglicher Funktionalitäten einer Aufgabenseite (MVC: Controller)	77

Beispielverzeichnis

Beispiel 4.1	Entwurf eines einfachen Systems zur Spracherkennung	73
Beispiel 5.1	WebMathematica mit Java Server Pages.....	92
Beispiel 5.2	WebMathematica mit Mathematica Server Pages.....	92
Beispiel 5.3	Beispiel eines Mathematica-Kommandos in der MathCommand.xml	94
Beispiel 5.4	Die DTD MathCommand.dtd	95
Beispiel 5.5	MathWrapper-Aufruf aus der JSP-Seite.....	95
Beispiel 5.6	Beispiel einer Prüfroutine mit Regular Expressions.....	103
Beispiel 5.7	Ausschnitt aus der StartServlet.java	106
Beispiel 5.8	Ausschnitt aus der StdAssembly.jsp.....	107

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

CAD	Computer-Aided-Design-System
CAS	Computer-Algebra-System
CBT	Computerbasiertes Training
CORBA	Common Object Request Broker Architecture
DBC	Design by Contract
DLL	Dynamic Link Library
DTD	Document Type Definition
FEM	Finite-Element-Methode
GET	Grundlagen der Elektrotechnik
GPL	GNU General Public License
HTML	Hypertext Markup Language
JDBC	Java Database Connectivity
JSP	Java Server Page
MVC	Model View Controller
SAC	Symbolic and Algebraic Computation
SOAP	Simple Object Access Protocol
SQL	Structured Query Language
vPSM	virtuelles Praktikum Signal- und Mustererkennung
WWW	World Wide Web
XML	Extensible Markup Language

1 Einleitung

1.1 Aktuelle Situation und Motivation

In den letzten Jahren war eine enorme Entwicklung der Computer- und Mikroprozessortechnik zu verzeichnen, deren Auswirkungen sich in allen Bereichen des gesellschaftlichen, politischen und wirtschaftlichen Lebens bemerkbar machten [Karrenberg, 2002]. Neben den ständigen technologischen Innovationen und getrieben durch sie wird auch der Einsatz der Mittel und Methoden der digitalen Signalverarbeitung, der Signalanalyse und Mustererkennung in vielen Bereichen der Elektro- und Informationstechnik stets erweitert [Bräunig&Seidel, 2004b]. Die unüberschaubare Vielzahl an technischen und algorithmischen Neuerungen und der damit verbundene explosionsartige Wissenszuwachs stellen völlig neue Anforderungen an die Aus- und Weiterbildung von Ingenieuren mit neuen Lehrfächern und Lehransätzen.

Weltweit ist eine rasante Entwicklung und Verbreitung der Informations- und Kommunikationstechnologie zu beobachten. Deren Bedeutung für den Wirtschaftsstandort Deutschland wird anhand des Aktionsprogramm "Informationsgesellschaft Deutschland 2006" [BMWA&BMBF, 2003] deutlich. Mit diesem Masterplan will die Bundesregierung die Entwicklung in der Informations- und Kommunikationstechnologie intensivieren, da „eine Spitzenposition in der weltweiten Informationsgesellschaft unverzichtbar für die Stärkung von Wachstum und Wettbewerbsfähigkeit in Deutschland ist.“ [BMBF229, 2003]. Das setzt auch eine Stärkung des Potentials beim Einsatz des Computers im Bildungssystem voraus. Mit dem BMBF¹-Programm „Neue Medien in der Bildung“² wurden wichtige Voraussetzungen für computerunterstützte Lehr- und Lernsysteme in Deutschland geschaffen. Hier steht laut Bundesministerin Edelgard Bulmahn die „Entwicklung erstklassiger Software für multimediale Lehr- und Lernformen sowohl für das Präsenzstudium als auch für das distance-learning im Vordergrund“ [BMBF193, 2000]. Beispielgebend findet man im [BMBFKursbuch, 2004] eine Übersicht von 100 geförderten Projektverbünden (Produkte und Projekte), die verdeutlichen, dass der Einsatz von E-Learning in alle Fachgebiete Einzug gehalten hat. Andererseits, wie aus der Studie „E-Learning an deutschen Hochschulen – Trends 2004“ des Multimedia Kontors Hamburg [MMKH, 2004] hervorgeht, ist „E-Learning ... zwar Bestandteil, aber noch nicht Alltag in der Hochschullehre“.

Neben der Vermittlung umfangreichen, theoretischen Fachwissens steht immer mehr die Einheit von Theorie und Praxis im Vordergrund der Lehre. Insbesondere in der Ingenieurausbildung ist es wichtig, das Prinzip „learning by doing“ umzusetzen. Dabei werden bestimmte Sachverhalte

¹ BMBF - Bundesministerium für Bildung und Forschung, <http://www.bmbf.de> (letzter Zugriff: 30.09.2005)

² http://www.bmbf.de/pub/neue_medien_bildung.pdf (letzter Zugriff: 30.09.2005)

in Experimenten und Praktika an realen Maschinen und Geräten oder mittels interaktiver Berechnungen und Simulationen vermittelt. Die Ausbildung im Labor ist ein Kernbestandteil der Ingenieurausbildung. Hierbei eröffnet das Lernen mit elektronischen Medien neue Möglichkeiten für die Gestaltung einer effektiven, praxisabbildenden Lernumgebung. Besonders der hohe Grad an Interaktivität und Multimedialität macht es zu einem interessanten Ansatz. Vor diesem Hintergrund wurden die Anforderungen an eine flexibel einsetzbare, praxisverbundene Lehrsoftware für die „Signal- und Mustererkennung“ abgeleitet. Das Kernanliegen dabei ist, die Organisation und Durchführung eines virtuellen, webbasierten Praktikums für die Signal- und Mustererkennung zu ermöglichen. Im Rahmen dieser Arbeit werden die Konzeption, die Rahmenapplikation und exemplarische inhaltliche Realisierungen der offenen Lernumgebung „Virtuelles Praktikum³ für die Signal- und Mustererkennung“ (vPSM) vorgestellt.

Auch die Weiterbildung von in der Praxis tätigen Ingenieuren erfordert effiziente E-Learning Angebote, da nicht nur die Frage nach dem *Wie lerne ich?* sondern auch *Wann?* bzw. *Wie lange lerne ich?* immer mehr im Vordergrund steht. Entsprechend den heutigen Anforderungen an das lebenslange Lernen sind Konzepte gefragt, die neben der eigentlichen Präsenzlehre an Fach- und Hochschulen den Aspekt der Weiterbildung von in der Praxis tätigen Technikern, Ingenieuren und Wissenschaftlern berücksichtigen und so effektiv und bedarfsabhängig auf neue und steigende Anforderungen des Berufs vorbereiten. Da in vielen Bereichen permanentes Lernen heute zum beruflichen Alltag gehört, sehen Marktbeobachter im interaktiven Lernen mit Computern und Internet bzw. speziell durch den Einsatz von Simulationen einen entscheidenden Trend für die nächsten Jahre. Zusammenfassend für die Fach- und Hochschulen bedeutet dies bezüglich der Lern- und Lehrmethoden:

- Anpassung und Unterstützung der verschiedenen Ausbildungsmodelle (Diplom-, Bachelor - und Masterstudium) mit webbasierten interaktiven Lehr/Lernsystemen,
- Erweiterung der Geschäftsfelder auf Weiterbildung für interessierte Berufstätige, andere Bildungsbereiche und Zielgruppen wie Schulen (Gymnasien), Unternehmen der Wirtschaft
- internationaler Erfahrungsaustausch [BMBFKursbuch, 2004] sowohl auf fachlicher als auch auf didaktischer Ebene.

Mit der webbasierten Lernumgebung vPSM und der Bereitstellung von virtuellen Geräten zum selbstgesteuerten, explorierenden Lernen soll dieser Entwicklung Rechnung getragen werden.

Durch den Einsatz des Computers in nahezu allen Bereichen des modernen gesellschaftlichen Lebens erweitert sich auch das Anwendungsfeld der Informationstechnologie. Die Basis der kompletten Informationstechnologie ist die Signalverarbeitung. Karrenberg bemerkt dazu

³ Der Begriff ‚virtuelles Praktikum‘ wurde deshalb für die Lernumgebung gewählt, da er sowohl im Sinne eines virtuellen Laborraumes mit seinen Geräten, Hilfsmitteln und Materialien als auch im Sinne der Praktikumsdurchführung, d.h. der Durchführung eines Experimentes, verstanden werden kann.

treffend: „Die gesamte Mikroelektronik macht nämlich nichts anderes als Signalverarbeitung!“ [Karrenberg, 2002, S. 12]. Die Signalverarbeitung und die Signal- und Mustererkennung sind zu wichtigen fächerübergreifenden Disziplinen geworden. Der Einsatz reicht von der Qualitätssicherung (z.B. Maschinendiagnostik) und Produktionsüberwachung (z.B. Trendanalyse), über die Sprachverarbeitung, den Einsatz bei der Auswertung von Börsendaten, in der Medizin und in der Hochspannungstechnik bis hin zur Weltraumtechnik. Da heutzutage gerade die Hilfsmittel, die den Einsatz dieser modernen Technologien in so großem Maße erst ermöglichen, einem schnellen Lebenszyklus unterliegen, ist die Vermittlung eines fundierten Basiswissens zu einer besonderen Herausforderung an die Lehre geworden. Besonders da es sich hier um ein Wissensgebiet handelt, bei dem in den nächsten Jahren weiterhin mit einem hohen Wissenszuwachs zu rechnen ist. In der offenen Lernumgebung vPSM lassen sich zu diesem Zweck neben den Informations- und Lerneinheiten zur Vermittlung des eigentlichen fundamentalen Grundlagenwissens fachgebietsübergreifende Inhalte oder Inhalte mit Spezialwissen ergänzen. Durch die Bereitstellung verschiedener Schnittstellen ist die Weiterentwicklung der virtuellen Geräte, der umgesetzten und integrierten Algorithmen, der Aufgaben- und Informationssammlungen, der Experimentierumgebungen usw. vorbereitet und geplant.

1.2 Ein kurzer Blick zurück

Die heutigen Möglichkeiten moderner Lehr- und Lernsysteme basieren auf der Entwicklung vielfältiger Technologien, Errungenschaften und Erkenntnisse der letzten Jahre und Jahrzehnte aus sehr unterschiedlichen Richtungen:

Computertechnik: Der erste Mikroprozessor wurde 1971 der Öffentlichkeit vorgestellt und 1975 erschien der erste PC auf dem Markt, den sich auch Heimanwender leisten konnten. 1980 wurde mit dem Z80 Prozessor der erste 8bit Prozessor entwickelt und 1982 wurde der erste tragbare Computer vorgestellt. Mit der Entwicklung des Intel i80286 Prozessors im gleichen Jahr begann der Wettlauf um die höchste Verarbeitungsgeschwindigkeit und die größte Speicherkapazität. Mit dem ersten echten „32bit-er“ wurden 1985 Taktraten von bis zu 33 MHz erreicht. Inzwischen nutzt mehr als die Hälfte aller Jugendlichen regelmäßig den Computer in der Freizeit. Der aktuelle Trend geht vom einfachen PC mit Tastatur und Bildschirm hin zu einem multimedialen, internetangebundenen Home-Computersystem mit mittleren Leistungsmerkmalen von 2 GHz Taktfrequenz und 256 MB RAM, die die Benutzung vielfältigster Peripherie, z.B. Maus, Audiosysteme, Virtual-Reality-Systeme, Grafik, Video, 3D ermöglichen.

Softwaretechnik: Eng verwoben mit der Hardwareentwicklung ist die Entstehung einer umfangreichen Softwarebasis für die verschiedensten Ansprüche und Plattformen. Neben der

Branche der PC-Spiele kommt es zur Entwicklung einer reichen Palette sowohl an Tabellenkalkulations-, Grafik-, Textverarbeitungs-, CAD- und Datenbankprogrammen, als auch an Dateiverwaltungs- (1982: Norton Utilities) und Entwicklungssoftware (1983: Turbo Pascal, 1983-85: C++) und andere Spezialsoftware. Dabei ist zunehmend ein deutlicher Trend von Einzelanwendungen hin zu umfassenden Programmpaketen bzw. zu Spezialsoftware zu beobachten. Speziell für den heutigen Einsatz des Computers in der Lehre wird die Kombination der oben genannten Komponenten in einer Anwendung interessant. Für die Erzeugung virtueller, interaktiver Lernumgebungen sind neben der elektronischen Aufbereitung der eigentlichen Lehrinhalte die Verwaltung und Organisation von Nutzer- und Aufgabendaten in Datenbanken, die grafischen und audiovisuellen Möglichkeiten und vieles mehr von herausragendem Interesse.

Internet: 1969 bilden 4 US-amerikanische Forschungseinrichtungen den ersten Netzknoten des ARPA-Net unter der Schirmherrschaft des US-Verteidigungsministeriums zur Erforschung neuer Techniken der Kommunikation und Datenübertragung. 1983 wird das Internet zivil. 1989 wird das WWW geboren. Berners-Lee und seine Kollegen vom Europäischen Labor für Hochenergiephysik (CERN) entwickeln ein Netzwerk miteinander verknüpfter Dokumente auf der Basis von Hypertext, dessen Konzept von früheren Entwicklungen abstammt. 1993 gab es die erste Version eines grafischen WWW-Browsers („Mosaic“) und 1994 wurde das WWW-Konsortium (W3C) gegründet. Nach der E-Mail ist das WWW der am meisten genutzte Internet-Dienst neben Suchdiensten, P2P, FTP, News und Chat. Neue Aspekte der Nutzung sind: das Internet als globaler Wissensspeicher (z.B. Wikipedia), als Informationsquelle (z.B. Lexika, Wörterbücher, Telefon-, Bahnauskunft), Kommunikationsnetzwerk, Einkaufsplattform usw.

Künstliche Intelligenz: So wurden bereits Ende der 70iger Jahre mit hohen Erwartungen und Versprechungen „intelligente“ Lehrsysteme und Programme mit Methoden der Künstlichen Intelligenz entwickelt. Jedoch besonders der hohe Entwicklungsaufwand bzw. die hohen Anschaffungskosten dieser Systeme waren der Grund, dass sich diese Technologie nicht durchsetzte. Die Erkenntnis, dass der Lehrer nicht durch „intelligente Lehrmaschinen“ zu ersetzen ist, sondern der Computereinsatz in der Lehre, vom augenblicklichen Entwicklungsstand betrachtet, nur begleitend und unterstützend sein kann, manifestierte sich.

Didaktik: J. A. Comenius begründete im 17. Jahrhundert mit seinem Buch „Didactica magna“ die erste systematische Didaktik, deren Prinzipien im Wesentlichen heute noch Gültigkeit haben. Im letzten Jahrhundert haben sich im Wesentlichen 3 Hauptströmungen von Lerntheorien herausgebildet: der Behaviorismus (seit etwa 1913), der Kognitivismus (seit etwa 1920) und der Konstruktivismus (seit etwa 1945) [Holzinger, Bd. 2, 2001]. Weitere Ausführungen hierzu befinden sich im Kapitel 2.2 bzw. in einschlägiger Fachliteratur [Baumgartner&Payr, 1994], [Schulmeister, 2002], [Lefrançois, 1994], [Kerres, 2001].

Unter Berücksichtigung dieser Entwicklungen⁴ kristallisierten sich optimale Bedingungen für die Verknüpfung der genannten Technologien und Wissenschaften heraus. Sie bildeten gleichzeitig oft die Grundlage aktueller Projekte und Initiativen beim Einsatz des Computers in der Lehre. In diesem Zusammenhang werden heute höchste Ansprüche an die Autoren und Entwickler von Lehr- und Lernsysteme gestellt. Neben den reinen Programmierfähigkeiten (Programmiersprachen, Betriebssysteme) werden umfassende Kenntnisse der Computertechnik (Computer-, Netztechnologien) mit seiner kompletten Peripherie (Komponenten, die die Multimedia-Fähigkeit des Computers ausmachen), fachspezifische und didaktische Kenntnisse vorausgesetzt. [Holzinger, 2001a, S. 222]

Verwöhnt durch den hohen Qualitätsstandard bei der audiovisuellen Wiedergabe (z.B. beim Fernsehen) erwartet der Benutzer heutzutage auch eine hohe Professionalität bei den angebotenen Lern- und Lehrmaterialien. Neben der Beherrschung der vielfältigen Techniken auch diesen Erwartungen gerecht zu werden, ist ein hoher Anspruch, der schwer zu erfüllen ist. Durch den Einsatz von Usability Tests und Evaluationen wird versucht bei der benutzerorientierten Gestaltung der Webinhalte diesem Anspruch gerecht zu werden.

1.3 Ziel und Inhalt der Arbeit

Durch die Möglichkeiten der Mikroelektronik, Informationstechnik und Informatik gewinnt die Verbreitung von Lehrinhalten auf multimedialer Basis zunehmend an Bedeutung. Insbesondere bei der Darstellung von komplizierten, fachgebietsübergreifenden Aufgabenstellungen, die neben der praktischen Kompetenz einen hohen Anteil an theoretischem, mathematisch-physikalischem Wissen benötigt, bieten der Computer und das WWW⁵ enorme Möglichkeiten für die Lehre. Hier gibt es sehr viele neue Lehrangebote einzelner Fachgebiete. Ausgehend von den aktuellen Anforderungen des Fachgebietes „Grundlagen der Elektrotechnik“ der TU Ilmenau, dessen Forschungsprofil durch die Forschungsschwerpunkte: elektrotechnische Grundlagenausbildung mit E-Learning, Signal- und Mustererkennung und Bildverarbeitung geprägt ist, eine multimediale Lernumgebung für die Signal- und Mustererkennung zu schaffen, konnte jedoch von der Autorin bisher nichts Vergleichbares gefunden werden. Das Ziel dieser Arbeit besteht daher darin, eine multimediale Lernumgebung für die Signal- und Mustererkennung mit interaktiven Bedienelementen, wie z.B. virtuellen Geräten, zu konzipieren und prototypisch ausgewählte Komponenten zu erstellen. Die Lernumgebung kann zum Selbststudium, zur Ergänzung von Lehrveranstaltungen und zur Durchführung von virtuellen, webbasierten Praktika herangezogen werden. Es sollen Themen von der Signaltheorie bis hin zur Mustererkennung abgedeckt werden. Lernziel ist das Erwerben der Fähigkeit zum Aufgaben- und Problemlösen

⁴ Hier wurden sehr speziell nur die für diese Arbeit relevanten Gesichtspunkte herausgestellt.

⁵ WWW - World Wide Web

angefangen bei Signalverarbeitungs- bis hin zu Klassifikationsaufgaben. Anhand synthetischer und realer Signale können die komplexen theoretischen Sachverhalte der Signal- und Mustererkennung anschaulich erprobt und anschließend auf praxisrelevante Probleme angewandt werden. Im Vordergrund stehen hierbei akustische Signale wie Sprache und Maschinengeräusche. Die entsprechenden Erfahrungen und Beispielsignalen werden u.a. aus aktuellen und vorangegangenen Forschungsarbeiten der Forschungsgruppe bezogen. Da es sich bei der inhaltlichen Problematik, bei den Beispielen und bei den Aufgaben vorwiegend um akustische Signale handelt, ist als wichtige Lern- und Kontrollfunktion die Wiedergabe über die Soundkarte eingebaut, so wird neben der visuellen Darstellung das Erlangen akustischer Erfahrungen gefördert. Zusammenfassend lassen sich für die Konzeption und Realisierung der Lernumgebung vPSM und damit für diese Arbeit folgende Zielstellungen bzw. Einsatzszenarien ableiten:

- Konzeption und Implementierung einer Lernumgebung für die Organisation und Durchführung eines webbasierten Praktikums,
- Konzeption und Implementierung erster virtueller Geräte für den universellen Einsatz im Praktikumsbetrieb, in den Lehrveranstaltungen, für das individuelle Selbststudium oder zu Forschungszwecken,
- Entwicklung von Strukturen zur Bereitstellung von Lern- und Informationseinheiten, Aufgaben, Experimentierungsumgebungen, Werkzeugen usw. und
- Implementierung ausgewählter, exemplarischer Inhalte zum Thema Signalvorverarbeitung.

Die Dissertationsschrift ist wie folgt gegliedert: Im Kapitel 2 werden die Grundlagen und Definitionen zu den wichtigsten Begriffen und Lerntheorien bezüglich des computerunterstützten Lernens mit interaktiven und multimedialen Komponenten vorgestellt und für den Gebrauch in dieser Arbeit abgegrenzt. Im Kapitel 3 wird die Ausgangssituation hinsichtlich verwandter Arbeiten, den Einsatzmöglichkeiten von Ingenieurwerkzeugen und der aktuellen Ausgangssituation im Fachgebiet diskutiert. Basierend auf der Analyse aktueller Software-Werkzeuge, den beschriebenen Anforderungen und existierender Lernumgebungen wird die Notwendigkeit der Neukonzeption einer Lernumgebung für die Signal- und Mustererkennung, die die Möglichkeit zur Durchführung webbasierter Praktika bietet, aufgezeigt.

Die Beschreibung der Konzeption einer flexiblen, offenen (erweiterbaren) Lernumgebung für die Signal- und Mustererkennung mit dem Schwerpunkt des Einsatzes als virtuelles Praktikum und der Beschreibung weiterer Einsatzszenarien folgt im Kapitel 4. Ein besonderes Augenmerk wird auf die Entwicklung und den Einsatz der virtuellen Geräte als individuelle Werkzeuge für freies Experimentieren gelenkt. Weiterhin werden die Möglichkeiten der Nutzeraktivitäten anhand des ersten Praktikums herausgearbeitet. Die daten- und softwaretechnische Konzeption und Realisierung der Lernumgebung wird im Kapitel 5 beschrieben. Erste Erfahrungen und Ergebnisse werden im Kapitel 6 ausgewertet und daraus mögliche Weiterentwicklungen abgeleitet und diskutiert.

2 Grundlagen

2.1 Allgemeine Begriffserläuterungen

Durch die stetige Ausweitung der Einsatzgebiete von Computern und Computersystemen wandeln sich auch die Erwartungen, die an derartige Systeme gestellt werden und die Aufgaben, die ihnen übertragen werden. Neben der bloßen Datenverarbeitung, bei der eine Maschine auf Tastendruck eine Berechnung ausführt, rückt immer mehr die Nutzung als das Medium zur Information und Kommunikation in den Vordergrund. Im Zuge der rasant fortschreitenden Vernetzung und der Digitalisierung aller Medien wird dies besonders deutlich. Begriffe wie „Interaktion“ und „Multimedia“ dominieren. Sie machen auch die wesentlichen Eigenschaften aus, auf die beim Einsatz des Computers in der Lehre große Hoffnungen und Erwartungen gesetzt werden. Ausgehend von den Begriffsbestimmungen werden in diesem Kapitel die Grundlagen zum Lernen allgemein, zum Lernen mit dem Computer und zum Lernen in virtuellen Laboren dargestellt. Weiterhin werden in diesem Rahmen die für diese Arbeit zentralen Begriffe Multimedia, Interaktion, Simulation, virtuelle Labore und Test- sowie Auswerteverfahren behandelt.

2.1.1 Multimedia

Ausgehend von der begrifflichen Klärung der Wortbestandteile soll eine Basis des Begriffes Multimedia für diese Arbeit abgeleitet werden.

- Multi- [lat.: viel, mehrfach], als Präfix
- Ein Medium [lat.: Mitte(lpunkt), Zentrum, dazwischen liegend, in der Mitte befindlich] ist im Allgemeinen das vermittelnde Element, ein Träger oder ein Übermittler von Jemandem oder Etwas.

Im Bezug auf Multimedia wird der Begriff Medium üblicherweise für die Elemente Text, Bild, Ton und Video verwendet, oft auch für Animationen, wie z. B. in [Glowalla&Häfele, 1997, S. 419]. Auch Multimedia, Hypertext und damit auch Hypermedia können als Medien selbst aufgefasst werden [Blumstengel, 1998].

In [MHEG, 1993], zitiert nach [Steinmetz, 1999, S. 7], wird eine weit differenziertere Unterteilung des Begriffes vorgenommen, aus der Steinmetz folgende Unterscheidung ableitet:

- Perzeptionsmedien: menschliche Sinnesorgane: auditiv (Musik, Geräusch, Sprache), visuell (Text, Bild, Animation)
- Repräsentationsmedien: Kodierung im Rechner: Text (ASCII), Audio (PCM), Grafik (JPEG)

- Präsentationsmedien: Geräte für Eingabe (Tastatur, Kamera, Mikrofon) und Ausgabe (Bildschirm, Papier, Lautsprecher)
- Speichermedien: Datenträger: Papier, Diskette, Festplatte, Magnetband
- Übertragungsmedien: Informationsträger zur Datenübertragung: Koaxialkabel, Glasfaser, Licht, Strom [Steinmetz, 1999, S. 7ff]

Gerade der unpräzise Begriff Medium hat zu sehr unterschiedlichen Definitionen von Multimedia geführt. Im einfachsten Fall wird lediglich von einer Mischung verschiedener Medien ausgegangen. So findet man in [Hovstadt, 1994, S. 13]: „Multimedia ist eine Verbindung unterschiedlicher Darstellungsformen von Informationen.“ In der Anwendung dieser Definition wäre schon eine beliebige Nachrichtensendung im Fernsehen „Multimedia“.

In [Koegel Burford, 1994] wird auf den zeitlichen Aspekt, d.h. die gleichzeitige Verwendung der Medien verwiesen: "It is the simultaneous use of data in different media forms (voice, video, text, animations, etc.) that is called multimedia." Wogegen Negroponte die digitale Speicherungsform als entscheidendes Kriterium herausstellt. [Negroponte, 1995, S. 27]

Ausgehend von der Begriffsdarstellung zu Medium [Steinmetz, 1999, S.7] und der Herausarbeitung der wesentlichen Eigenschaften eines Multimedia-Systems [Steinmetz, 1999, S. 12] leitet Steinmetz folgende Definition ab: „Ein Multimediasystem ist durch die rechnergesteuerte, integrierte Erzeugung, Manipulation, Darstellung, Speicherung und Kommunikation von unabhängigen Informationen gekennzeichnet, die in mindestens einem kontinuierlichen (zeitabhängigen) und einem diskreten (zeitunabhängigen) Medium kodiert sind.“

Der Aspekt der Interaktivität bleibt allerdings auch bei dieser Definition unberücksichtigt. In [Booz Allen&Hamilton, 1997, S. 29] findet Interaktivität in folgender Definition Berücksichtigung: "Multimedia wird vor allem als Oberbegriff für eine Vielzahl von neuartigen Produkten und Diensten aus dem Computer-, Telekommunikations- und Medienbereich verwendet. Diese Produkte und Dienstleistungen haben im Wesentlichen drei gemeinsame Merkmale:

- Die Möglichkeit der *interaktiven Nutzung*, d.h. der Nutzer ist nicht nur ausschließlich Empfänger, sondern kann selbst durch die Verwendung entsprechender Rückkanäle Inhalte verändern bzw. Aktionen auslösen,
- die *integrative Verwendung verschiedener Medientypen*, d.h. dynamische (Video- und Audiosequenzen) werden mit statischen (z. B. Text und Daten) Medien kombiniert,
- sowie als Basis der Anwendungen die *digitale Technik*, die sowohl die Speicherung als auch die spätere Bearbeitung der Daten, die den verschiedenen Medien zugrunde liegen, zum Teil auch durch den Einsatz von Kompressionsverfahren entscheidend vereinfacht bzw. überhaupt erst ermöglicht."

Weidenmann fordert eine „differenziertere Begrifflichkeit“ und kritisiert die Multimedia-definition „aus psychologischer und medienwissenschaftlicher Sicht [als] inkonsistent und theorielos.“ [Weidenmann, 2002, S.45ff]. Er bietet die Differenzierung in folgenden Kategorien bei der Beschreibung multimedialer Angebote an:

- **Multimedial:** Angebote, die auf unterschiedlichen Speicher- und Präsentationstechnologien verteilt sind, aber integriert präsentiert werden
- **Multicodal:** Benutzung verschiedener Zeichen- bzw. Symbolsysteme (verbal, piktorial, Zahlensysteme u.a.) zur Codierung von Information
- **Multimodal:** Angebote, die mehrere Sinne (z.B. Sehen, Hören) ansprechen

Zusammenfassend und als Ausgangsposition für die weiteren Darstellungen und Diskussionen in dieser Arbeit soll Multimedia durch die folgenden fünf Merkmale charakterisiert werden:

- Digitalisierung der verwendeten Informationen,
- computerbasierte Integration,
- multimodale und multicodale Präsentation sowie
- anwendergesteuerte (interaktive) Nutzung und
- Unabhängigkeit der verschiedenen Medien.

2.1.2 Interaktion und Interaktivität

Da es noch keine allgemeingültige Definition für Interaktivität bzw. Interaktion im Zusammenhang mit computerunterstütztem Lernen gibt, wie Prof. Dr. Claus Leggewie feststellte: „Jede beteiligte Wissenschaftsdisziplin versucht eigene Antworten zu finden.“ [Interaktiva2003], sollen dazu im folgenden Abschnitt die wesentlichen Aspekte kurz dargestellt werden.

Etymologisch betrachtet bedeutet Interaktion [lat.: inter = zwischen, lat.: agere = handeln] soviel wie „wechselseitig“ und „aufeinander bezogen“ handeln. Die historischen Ursprünge der Definition sind in den Sozialwissenschaften zu suchen. Hier wird von Interaktion gesprochen, wenn mindestens 2 Individuen zueinander in Kontakt treten und sich in ihren wechselseitigen Handlungen auf der Basis von Kommunikation gegenseitig beeinflussen [MeyersLexikon5, 1993], [Meschenmoser, 1999, S. 43]. Durch die Übernahme von Kommunikationsfunktionen digitaler Medien lässt sich die Betrachtung dahingehend erweitern, dass eines der Individuen durch ein technisches System bzw. eine Maschine¹ (den Computer) ersetzt wird.

Dabei müssen sowohl die Person als auch der Rechner unterschiedliche Wahlmöglichkeiten zur Verfügung haben. Ein ausschließliches Bereitstellen von Informationen beispielsweise auf einer Internetseite oder das Betätigen eines Knopfes nach einer allgemeinen Aufforderung

¹ In den 80iger Jahren entwickelte sich dazu ein eigenes Fachgebiet innerhalb der Informatik unter dem Gesichtspunkt: Mensch-Maschine-Interaktion [Haack, 1995, S. 152].

[Seufert&Mayr, 2002, S. 66] würde nicht als interaktiv bzw. Interaktion bezeichnet werden. Dazu stellt Jaron Lanier in einem Interview kritisch fest: „Es liegt in der Natur der Sache, dass das Gegenüber, mit dem Sie interaktiv sind, sich gleichzeitig mit Ihnen ändert. ... Die Vorstellung, man könne interaktiv mit etwas sein, das sich selber nicht ändert, ist lächerlich. Es reagiert, aber es bewirkt nichts, ...“ [ct_Lanier].

Andere Ansätze lassen einen wesentlich breiteren Spielraum zu. So wird vom „Zentrum für interaktive Medien e.V.“ ein Schema mit 6 Interaktivitätsgraden definiert: linearer Ablauf mit Start-, Stop- und Pausenmöglichkeit, linearer Ablauf mit Vor- und Zurücknavigieren, linearer Ablauf mit Kapitelanwahl, Auswahlssysteme mit Hyperlinks, rückantwortende, quittierende Systeme und Systeme mit Rückantwort und selbständiger Konfiguration [Kolb, 1999, S. 66].

Messbarkeit von Interaktionen

Niegemann unterscheidet zwischen Interaktion und Interaktivität dahingehend, dass mit Interaktivität das Maß, in dem eine Lernumgebung Interaktionen ermöglicht und fördert, bezeichnet wird [Niegemann&Hessel, 2004, S. 109]. In Schulmeister ist ein Überblick über historische Versuche, das Prinzip der Interaktivität zu begründen, zu finden [SchulmeisterInteraktivitaet].

Wird nur die Gestaltung multimedialer Lernprogramme betrachtet, beschreibt Interaktion die Eigenschaft der Software, dem Benutzer diverse Eingriffs- und Steuermöglichkeiten zu ermöglichen. Dabei beschränkt sich nicht selten die Funktionalität im Wesentlichen auf ein Navigieren, d.h. im konkreten Fall auf ein Vor- und Zurückblättern in einem Hypertext-Dokument vergleichbar dem Blättern in einem Buch. Hier wird von einem niedrigen Grad an Interaktivität gesprochen, obwohl nach Balzert, dass Vor- und Zurückblätter allein nicht interaktiv ist [Balzert, 1993, zitiert nach Rettig, 1996, S.7].

Issing unterscheidet hingegen sechs Stufen der Interaktivität:

- Steuerung des Ablaufs des Informationsangebots bzw. Programms
- Auswahl der Inhalte und Bestimmung des eigenen Lernwegs
- Auswahl und Steuerung der Präsentationsformen der Inhalte
- Dialog mit dem Computer mittels Datenein- und ausgabe
- Manipulation, Modellierung und Generierung multimedialer Daten und Objekte
- Asynchrone und synchrone Kommunikation und Kooperation über das Netz mit anderen Menschen (z.B. Experten, Tutoren, anderen Lernenden) [Issing, 1998, S. 171].

Issing hebt Interaktivität als die wohl bedeutendste Eigenschaft von Multimedia und Hypermedia hervor und teilt ihr eine Schlüsselrolle bei der „Individualisierung des Lernprozesses“ als wichtigste didaktische Komponente im computerunterstützten Lernen zu [Issing, 1998, S. 171].

Ziel von Interaktionen

Beim Einsatz multimedialer Medien in Lernumgebungen werden die Möglichkeiten der Interaktivität genutzt, um ein individualisiertes Lernen zu ermöglichen. So kann die Auswahl und die Art der Darstellung von Information dem Vorwissen, den Interessen und Bedürfnissen der Lernenden angepasst und von diesen manipuliert werden. Der Nutzer steuert sich mit Hilfe einer Benutzerführung durch ein Programm, das auf seine Eingabe mit weiterführenden Informationen reagiert. Interaktivität ist also dynamisch, d.h. beide Seiten reagieren abhängig von der Art der (Re)Aktion [Seufert&Mayr, 2002, S. 65f].

Die Zielfunktionen von Interaktivität beim Einsatz interaktiver Medien für das Lernen wird von Niegemann aus den Funktionen der Kommunikation mit einem menschlichen Tutor abgeleitet: Motivieren, Informieren, Verstehen fördern, Behalten fördern, Anwenden bzw. Transfer fördern, Lernprozess organisieren und regulieren [Niegemann&Hessel, 2004, S. 110].

Als wesentliche Kriterien im Zusammenhang mit Multimediaanwendungen werden die Selbstbestimmtheit und Handlungsflexibilität oder, wie in Haack formuliert, die „... aktive Rolle des Benutzers und die Freiheitsgrade der Auswahl als konstitutiv für die Interaktivität eines Computerprogramms betrachtet, ...“ [Haack, 1995, S. 153].

Interaktive Medien

„Interaktive Medien erlauben eine gegenseitige Beeinflussung zwischen dem Benutzer und dem Medium, d.h. der Benutzer wird durch bestimmte Ereignisse aufgefordert, eine Aktion zu tätigen, und umgekehrt beeinflusst der Benutzer durch bestimmte Aktionen den weiteren Ablauf bzw. die folgenden Schritte eines (Lern-)Programms“ [Seufert&Mayr, 2002, S. 66].

Mit der Einführung des Internet und der Bereitstellung seiner verschiedenen Dienste (WWW, E-Mail, Chat, News usw.) bieten sich vielfältige Möglichkeiten von Interaktionen. Durch den vernetzten Computer werden hier synchrone und asynchrone Kommunikationsformen unterstützt. Im Unterschied zum persönlichen Gespräch oder beim Telefonieren können jetzt große Gruppen und ausgedehnte Netzwerke in wechselseitigen Austausch, sowohl zeitgleich als auch zeitversetzt, treten [UniGiessenKonferenz].

Bei den Interaktionen ist zu unterscheiden:

- zwischen der technikorientierten Vorstellung, bei der es um die Interaktion zwischen Mensch und Maschine bzw. Medium (Mensch-Maschine-Kommunikation) und
- zwischen der sozialorientierten Vorstellung, bei der es um die Interaktion zwischen Nutzern über das Medium (computergestützte Mensch-Mensch-Kommunikation) geht.

[MenschMensch]

Zusammenfassend soll Interaktion innerhalb dieser Arbeit in Aktions- und Handlungsmöglichkeiten des Benutzers und in Reaktionen des Systems unterteilt werden.

2.1.3 Simulation und Simulationssysteme

Der Begriff "Simulation" wird nach der VDI-Richtlinie 3633 (1992)² folgendermaßen definiert: "Simulation ist das Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierfähigen Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind." [DefSimulation]. Typische Beispiele für Simulationstechnologien sind: Ablaufsimulation, Grafische 3D-Simulation, FEM³-Simulation und Mehrkörpersimulation. Die Voraussetzung dafür, dass sich Prozesse in Simulationen virtuell abbilden lassen, ist, dass sie sich mathematisch modellieren lassen [Zimmer, 2002, S. 312]. Das Simulationsmodell erlaubt es weiterhin, nur die Aspekte zu berücksichtigen, die für die Erkenntnisgewinnung von besonderem Interesse sind, d.h. dem Modellzweck entsprechen. Alle anderen Aspekte werden vereinfacht oder weggelassen [Bossel, 2004, S. 51].

Werden für die dazu notwendigen Berechnungen Computer eingesetzt, so spricht man von Computersimulation⁴ und realisiert sie in folgenden Arbeitsschritten (nach [Bossel, 2004, S.25]):

- Entwicklung des Modellkonzeptes,
- Aufbau eines mathematischen Simulationsmodells im Computer,
- Experimente mit dem Modell zur Simulation des Systemverhaltens und
- Analyse des Systems und Ableiten von Schlussfolgerungen für die Realität.

Lernen mit Simulationen⁵

Der Vorteil beim Einsatz von Simulationen in der Lehre ist, dass, neben der reinen Beobachtung, wie es bei Animationen⁶ und Filmen möglich ist, der Lernende aktiv auf das Modellgeschehen Einfluss nehmen kann. Indem er Eingabewerte und Parameter vorgibt oder variiert, wird er selbst mit seinem Wissen und Planen ein Teil des Systems [Pohl, 1999, S. 63f] [Bodendorf, 1993, S.74]. Somit kann er Dinge ausprobieren und dadurch Zusammenhänge eines komplexen Systems bzw. Prozesses erkunden bzw. erkennen [Niegemann, 2004, S. 136], [Thissen, 1997]. „Durch Verändern von Parametern des Systems kann er immanente Strukturen entdecken und ein kognitives Modell aufbauen und überprüfen. ... Ihr [bezogen auf Simulation] hoher motivatorischer Gehalt liegt in der sofortigen Reaktion des Systems auf Aktionen des Lerner.“ [Thissen, 1997, S. 77].

Simulationen unterstützen exploratives Lernen, da sie ein virtuelles Erkunden eines Systems durch die Eingabe bzw. die Manipulation von Parametern ermöglichen [Niegemann&Hessel,

² <http://www.vdi.de/vdi/vrp/richtliniendetails/index.php?ID=7276422> (letzter Zugriff: 30.09.05)

³ FEM - Finite-Element-Methode

⁴ Bei Computersimulationen handelt es sich „immer um die Arbeit mit einem mathematischen oder formal-logischen Modell ..., dessen Algorithmus als ein von einem Rechner zu verarbeitendes Programm vorliegt.“ [Wedekind, 1981]

⁵ Mit Simulation wird im Weiteren immer Software- bzw. Computersimulation gemeint.

⁶ „Animation ist die Wiedergabe einer Folge von Einzelbildern, bei der der Eindruck von Bewegung entsteht.“ [Niegemann, 2004, S.135]

2004, S. 136] oder wie in Müller beschrieben: „Lernprozesse mit Simulationen enthalten Elemente des Problemlösens, des entdeckenden Lernen, und des handlungsorientierten Unterrichts. Da Simulationen sui generis des Generieren und Testen von Hypothesen erfordert, finden wir auch Formen des experimentierenden Lernens.“ [Müller, 1997, S.24]

„Diese Möglichkeit, entdeckend zu lernen und erworbenes Wissen auszuprobieren, hebt Simulationssysteme ... von eher tutoriell orientierten Ansätzen ab.“ [Bodendorf, 1993, S. 73].

Grenzen von Simulationen

Voraussetzung für den erfolgreichen Einsatz von Simulationen ist die Berücksichtigung und Diskussion folgender Einflüsse, die das Ergebnis negativ beeinflussen bzw. komplett verfälschen können:

- Vereinfachungsfehler bei der Bildung eines quantitativen Modells,
- Verfahrensfehler bei der Auswahl und Anwendung eines Rechenverfahrens
- Rechenfehler, da Computer nur mit endlich vielen Stellen rechnen können
- Betrachtung der Ergebnisse in Zusammenhang mit einem falschen Kontext
- Interpretationsfehler beim Schließen vom errechneten zukünftigen Modellzustand auf den realen zukünftigen Systemzustand [Bossel, 2004], [GlossarSimulation].

Einsatz von Simulationssystemen

Von Marktbeobachtern wird dem Lernen durch Simulation heute ein hohes Wachstumspotential zugesprochen. Simulationen erlauben eine sofortige Rückkopplung mit dem Lernenden. Das Prinzip, nach dem E-Learning sich nicht auf die Vermittlung theoretischer Inhalte beschränken sollte, lautet: Inhalte nicht konsumieren, sonder aktiv erarbeiten. Inhalte, die selbst erarbeitet werden, bleiben länger im Gedächtnis, als solche, die lediglich als Information vermittelt werden [MITSimulation].

Speziell in Bereichen, wo die Durchführung von realen Experimenten schwer durchführbar ist, da sie z.B. „zu groß, zu klein, zu schnell, zu langsam, zu gefährlich, zu kostspielig“ [Steinmetz, 1999, S. 818] sind, gewinnt der Einsatz von Simulationen in virtuellen Laboren zunehmend an Bedeutung.

Simulationen lassen sich prinzipiell in situationsbeschreibende/spielerische und algorithmische einteilen. Die Realisierungen von Simulationsprogrammen reicht aktuell von einzelnen Modulen, die z.B. als interaktive, virtuelle Geräte (virtual devices) über das Internet verfügbar sind (Beispiel: virtuelles Oszilloskop⁷) über erstaunlich anspruchsvolle Mikrowelten (z.B. Computerspiele wie „Die Sims“, „SimCity“) bis hin zu hochkomplexen Wirtschafts- und Wettersimulationen. Bei Simulationssystemen, die innerhalb von Lernumgebungen eingesetzt

⁷ <http://www.virtuelles-oszilloskop.de/> (letzter Zugriff: 30.09.05)

werden sollen, ist zum einen die Anpassung an das Lernziel aber auch an den aktuellen Wissensstand des Lernalers notwendig. Steinmetz empfiehlt zur Erhöhung der Lernwirksamkeit, den Einsatz von Simulationen eingebettet in einen didaktisch angepassten Lernkontext, der anschließend ausgewertet wird [Steinmetz, 1999, S. 818].

2.1.4 Virtualität, Virtual Labs und Remote Labs

Ein wesentlicher Bestandteil der Ingenieurausbildung, neben der Vermittlung von theoretischem Fachwissen, ist das Umsetzen und Erwerben praktischer Erfahrungen und Fähigkeiten in Experimenten und Praktika. Mit steigender Leistungsfähigkeit der Computertechnik und immer leistungsfähigerer Simulationssoftware können heute viele Experimente und Praktika „virtuell“ durchgeführt werden.

Was heißt virtuell?

„... dort, wo das Wahrscheinlichwerden den höchsten Grad erreicht, dort, wo es daran ist, ins Wirkliche umzustürzen, spricht man von virtuell.“ [Flusser, 1996, S. 120]

Der Ausdruck "virtuell" wurde im frühen 19. Jahrhundert vom gleichbedeutenden französischen "virtuel" übernommen. Er bedeutet: "der Kraft oder Möglichkeit nach vorhanden (ohne jedoch bereits sich wirksam zu äußern)", "fähig, zu wirken", „nur gedacht, scheinbar“ [Langenscheidt]. Auf eine solche Definition greift Scholz unter anderem zurück, wenn er schreibt: „Als virtuell gilt die Eigenschaft einer Sache, die zwar nicht real ist, aber doch in der Möglichkeit existiert; Virtualität spezifiziert also ein konkretes Objekt über Eigenschaften die nicht physisch, aber doch in ihrer Funktionalität vorhanden sind.“ [adLexikonVirtuell]. Diese Ausgangsdefinition von Virtualität impliziert den Bezug zu einem konkreten Objekt. Es gibt demnach keine Virtualität per se [Scholz, 1997].

Der Begriff *virtuell* wird in den verschiedensten Bereichen, wie z.B. in der Physik, Informatik und Wirtschaft verwendet. In der Informations- und Kommunikationstechnologie wird er meist für ursprünglich physikalische Komponenten und Umgebungen verwendet, die durch Software nachgebildet werden (z.B. ein virtuelles Laufwerk, virtueller Speicher).

Lernen in virtuellen Welten

Die Palette von *virtuellen* Einsatzmöglichkeiten in Zusammenhang mit E-Learning reicht von der Realisierung einzelner *virtueller* Geräte (*virtuelles* Oszilloskop) über komplexe Laborszenarien mit *virtual reality*-Charakter (GenLab⁸) bis hin zu *virtuellen* Hochschulen (virtuelle

⁸ <http://www.offis.de/genlab> (letzter Zugriff: 30.09.05)

Hochschule Bayern⁹). In den letzten Jahren entstanden zahllose *virtuelle* Experimente und Labore in fast allen Ausbildungsbereichen (VVL¹⁰, VELO¹¹, Nano-World¹², Virtual Chemistry Lab¹³, cLABs Neuron¹⁴). Im Vordergrund stehen Anwendungen, die in didaktisch aufbereitete Lerneinheiten integriert und über das Internet in einem Browser genutzt werden können. Basis dieser Anwendungen sind in der Regel leistungsfähige Simulationstools. Sie erlauben bewährte Lehrinhalte zu unterstützen und zu ergänzen und erworbene theoretische und methodische Kenntnisse in *virtuellen* Laborversuchen zu erproben – so wird entdeckendes Lernen ermöglicht. Sie ersetzen keinesfalls die praktischen Experimente, sondern sollten dort eingesetzt werden, wo es z.B. aus Kosten- oder Sicherheitsgründen notwendig ist oder die eigentliche Versuchsdurchführung durch eine virtuelle Versuchsvorbereitung effektiviert werden kann. Da sie auf einer Nachbildung (Simulation) eines realen Objektes bzw. Vorganges basieren, sind die in Kapitel 2.1.3 beschriebenen Grenzen von Simulationen zu berücksichtigen.

Virtual Lab versus *Remote Lab*

Eine völlig neue Form der Versuchsdurchführung wird mit dem Einsatz von *remote labs* angestrebt. Wie schon aus der Ableitung des Begriffes *remote* (engl.: entfernt, entfernt liegend) ersichtlich, handelt es sich hierbei um Experimente an realer Hardware, die über eine Fernsteuerung z. B. über das Internet/Intranet durchgeführt werden. Die Visualisierung der, in der Regel mit einer Webcam aufgenommenen Abläufe, erfolgt z.B. im Browserfenster. Eine Übersicht wesentlicher Charakteristika gibt die Tabelle 2.1.

Tabelle 2.1 Übersicht Virtual Lab versus Remote Lab

Virtual Lab	Remote Lab
- Experimente werden von Software simuliert.	- Experimente werden an realer Hardware ferngesteuert durchgeführt.
- Der Nutzer kann zu jeder Zeit von jedem beliebigen Netzzugang auf die Experimente zugreifen.	- Der Nutzer kann nach vereinbarter Zugriffszeit auf das Experiment von jedem beliebigen Netzzugang zugreifen.
- Erfahrungen werden anhand von Simulationen vermittelt.	- Es werden labornahe Erfahrungen vermittelt.
- Virtual Labs sind i.d.R. flexibler, kostengünstiger und leichter zu warten.	- Zugriff auf teure z.T. hochspezialisierte Geräte und Software wird institutsübergreifend ermöglicht.

⁹ <http://www.vhb.org> (letzter Zugriff: 30.09.05)

¹⁰ VVL – Verbund Virtuelles Labor, <http://141.18.3.218/VVL/index.htm> (letzter Zugriff: 30.09.05)

¹¹ VELO – Virtual Electronic Laboratory, <http://www.online-lab.net/velo> (letzter Zugriff: 30.09.05)

¹² Learning Environment on Nanophysics, <http://www.nano-world.org/> (letzter Zugriff: 30.09.05)

¹³ Virtual Chemistry Lab, <http://ir.chem.cmu.edu/irproject/applets/virtuallab/Applet.asp> (letzter Zugriff: 30.09.05)

¹⁴ cLABs, <http://clabs.de> (letzter Zugriff: 30.09.05)

Beide Formen bieten die Möglichkeit, ausgehend von multimedial aufbereiteten Lerneinheiten, die verschiedensten Versuche dem Lernenden anzubieten. Hier ist abzuwägen, wann der Einsatz eines virtuellen Versuches zur Erreichung des gesetzten Lehrziels ausreicht und wann die Vorteile von *remote labs* den hohen Einsatz an Entwicklungs- und Gerätekosten rechtfertigen.

2.2 Lernparadigmen, Lernziele, Lernzielkontrolle

2.2.1 Grundfragen des Lernens

Bei der Planung und Erstellung jeder Lern- und Lehranwendung und natürlich auch allgemein beim Einsatz von Multimedia bzw. Software in der Lehre ist es zweckmäßig, das theoretische Fundament des Lernens zu reflektieren. Dabei ist zu berücksichtigen, dass „... Lernen ... ein vielschichtiger Prozess [ist], bei dem mehrere zentrale psychologische Phänomene (Motivation, Emotion, Kognition) zusammenwirken.“ [Niegemann, 2004, S. 205]. Er ist abhängig von individuellen Voraussetzungen (Vorwissen, Lerntyp) und wird von einer Vielzahl von Variablen beeinflusst [Kirstein, 1999, S. 17].

Es muss bei der Diskussion von Lerntheorien berücksichtigt werden, dass es sich dabei stets um theoretische Annahmen über den Lernprozess bzw. idealisierte Modelle handelt, die nur einen kleinen Ausschnitt der komplexen Realität menschlichen Lernens zu erfassen versuchen [Meschenmoser, 1999, S. 52], [Kirstein, 1999, S. 17]. Dazu haben sich im Laufe der Geschichte, viele Vorstellungen und Theorien entwickelt, wie der menschliche Lernprozess stattfindet [Baumgartner&Payr, 1994, S.110ff], [Issing&Klimsa, 1997, S. 199], [Lerntheorien]. Zu den einflussreichsten drei Paradigmen des letzten Jahrhunderts, die auch für das computerunterstützte Lernen von Bedeutung sind, zählen der Behaviorismus, der Kognitivismus und der Konstruktivismus. Die schematischen Lernmodelle und einige wichtige Vertreter sind in den Abbildungen 2.1 bis 2.3 dargestellt.

Ihr Einfluss auf das Lernen mittels Lernsoftware und deren Gestaltung wurde in [Baumgartner&Payr, 1994, S. 100], [Schulmeister, 2002] u.a. nachgewiesen. Sie werden nachfolgend nur soweit, wie für die vorliegende Arbeit notwendig, erörtert. Eine ausführliche Darstellung der Theorien, deren historischen Entwicklung und eine kritische Auseinandersetzung und Wertung der traditionellen ebenso wie der neueren Ansätze in der Lernpsychologie erhält man z.B. in [Lefrançois, 1974], [Edelmann, 2000] und [Garman, 1995, S. 5ff].

Behaviorismus

Ausgangspunkt des Behaviorismus¹⁵ ist eine möglichst objektive Beschreibung messbarer und beobachtbarer Reaktionen von Individuen. Ideen, Emotionen und Erfahrungen werden - da nicht objektiv - nicht berücksichtigt [Holzinger, 2001a, S. 112].

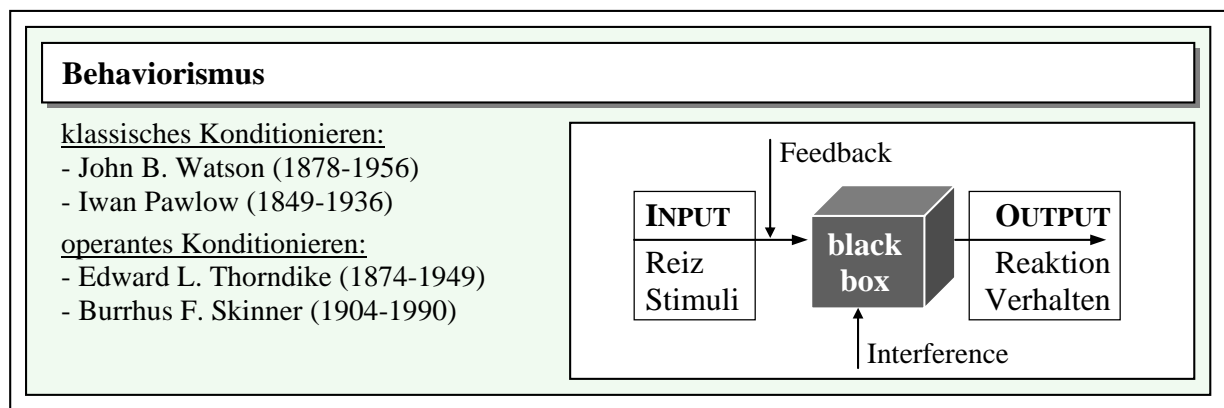


Abbildung 2.1 Schematisches Lernmodell und wichtige Vertreter des Behaviorismus

Im Behaviorismus stellt der Organismus (explizit: das Gehirn) eine *black-box* dar. „Er [der Behaviorismus] ist nicht an den im Gehirn ablaufenden spezifischen Prozessen interessiert.“ [Baumgartner&Payr, 1994, S. 101]. Ein Reiz (Input) führt in die *black-box* und eine Reaktion (Output) ist das Ergebnis (Organismus als Reiz-Reaktions-System) (Siehe Abbildung 2.1).

Das Gehirn wird als passiver Behälter betrachtet, der gefüllt werden muss [Baumgartner&Payr, 1994, S. 101]. Die Zwischenschritte, d.h. die inneren Prozesse im menschlichen Gehirn, bleiben jedoch verschlossen. Da sie nicht beobachtbar und somit nicht wissenschaftlich erfassbar sind, werden sie nicht beachtet. „Lernen wird als konditionierter Reflex gesehen, der durch Adaption erworben wird.“ [Baumgartner&Payr, 1994, S. 101]. Es wird nach dem englischen Philosophen John Locke (1632-1704) davon ausgegangen, dass der Mensch als *tabula rasa*¹⁶ auf die Welt kommt. Jegliches Verhalten wird durch Erfahrungen mit der Umwelt erlernt und ist nicht angeboren.

So sehr sich heute von dieser Betrachtungsweise allgemein distanziert wird, kommt ihren Vertretern ein großer Verdienst beim Aufstellen und bei der erfolgreichen experimentellen Durchführung von Versuchen zu wichtigen Lerntheorien zu. Typische Anwendungen finden sich auch heute noch in Drill & Practice Programmen zum Einüben automatischer, scheinbar gedankenloser Fertigkeiten (Sprachsysteme, Maschineschreiben, Klavierspielen). Gerade das von Skinner beschriebene Prinzip der Verhaltensänderung auf der Grundlage einer positiven Konsequenz lässt sich mit Computern konsequenter und effektiver als im personellen Unterricht

¹⁵ behavio(u)r (engl.) - Verhalten

¹⁶ tabula rasa (lat.) - leeres (unbeschriebenes) Blatt

anwenden. So ist auch die erste Welle des Einsatzes von Computern zu Bildungszwecken in den 60er Jahren stark mit dem lernpsychologischen Ansatz von Skinner verbunden [Kerres, 2001, S. 55].

Zusammenfassend zielt der Behaviorismus beim Lernvorgang darauf ab, die notwendigen Stimuli zu finden, um einen gewünschten Reiz-Reaktions-Mechanismus auszulösen. Er kann nicht die Komplexität menschlicher Lernprozesse erklären.

Kognitivismus

Im Gegensatz zum Behaviorismus werden im Kognitivismus¹⁷ die inneren Prozesse des menschlichen Hirns untersucht. Das menschliche Hirn wird nicht mehr als passiver Behälter angesehen. Ihm wird eine eigene Verarbeitungs- und Transformationskapazität zugestanden (Siehe Abbildung 2.2). Es wird versucht, für die Prozesse im Hirn ein theoretisches Modell zu entwickeln, wie in [Baumgartner&Payr, 1994] beschrieben.

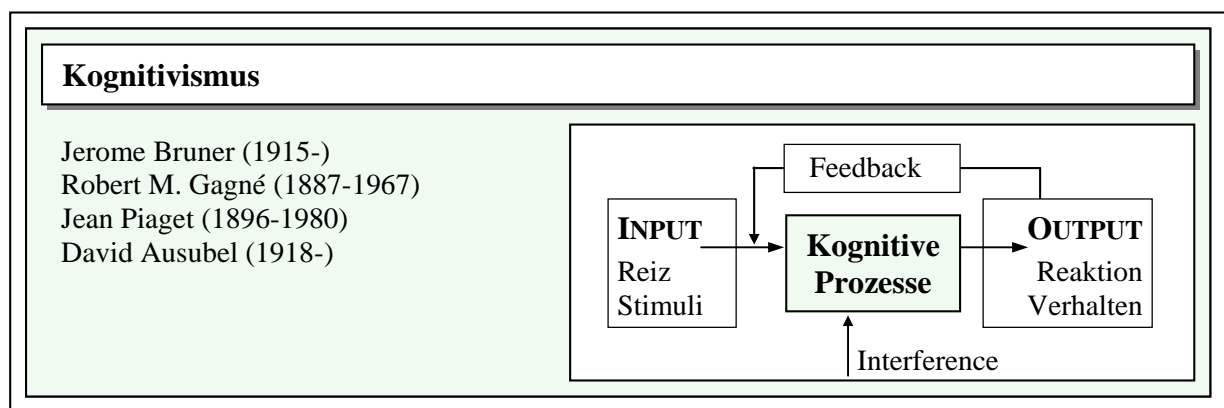


Abbildung 2.2 Schematisches Lernmodell und wichtige Vertreter des Kognitivismus

Die verschiedenen Ausprägungen des Kognitivismus basieren alle gemeinsam auf der Aussage, dass der Prozess des menschlichen Denkens ein Prozess der Informationsverarbeitung, in etwa wie bei einem Computer, ist. Innerhalb des Kognitivismus stehen Denk- und Verarbeitungsprozesse der Lernenden im Vordergrund. Eine Information gelangt in das Gehirn (Input), wird verarbeitet (Verarbeitung, Operation) und es erfolgt eine Reaktion (Output). Dabei sind bei gleichem Stimulus oder gleicher Reaktion unterschiedliche Lernprozesse möglich [LernpsychInteraktiv].

¹⁷ cognito (lat.) – Erkenntnis, Erkennen bzw. die Erkenntnis betreffend; Mit Kognition werden die Prozesse eines Individuums wie Gedanken, Meinungen, Einstellungen, Wünsche, Absichten bezeichnet. Kognitionen können auch als Informationsverarbeitungsprozesse verstanden werden. [Wikipedia]

„Das typische Paradigma dieses Ansatzes ist das der Problemlösung: Es geht nicht mehr darum, auf gewisse Stimuli die (einzig) richtige Antwort zu produzieren, sondern weit allgemeiner darum, richtige Methoden und Verfahren zur Problemlösung kennen zu lernen, deren Anwendung dann erst die (eine oder mehrere) richtigen Antworten ergeben.“ [Baumgartner& Payr, 1994, S. 103ff]

Das Problem bei der Erforschung der inneren Prozesse besteht darin, dass der Informationsfluss im Hirn nicht direkt beobachtbar ist. Um innere Prozesse im Hirn studieren zu können, müssen entsprechende Methoden gefunden werden. Diese stützen sich weitestgehend wiederum auf den Computer als Medium für die Erforschung und Untersuchung der menschlichen Denkprozesse, wie z.B. Erinnern, Vergessen und Lernen.

In Verbindung mit computerunterstütztem Lernen werden unterschiedliche Lernformen, wie beispielsweise entdeckendes Lernen, selbstgesteuertes Lernen, interaktives Lernen usw. propagiert. Das Prinzip des *entdeckenden Lernens* lässt sich bis zu Sokrates (Menon's Sklave) zurückverfolgen. Jerome Bruner, als ein Hauptvertreter des entdeckenden Lernens, sieht „Lernen durch Entdeckung als den einzigen und unübertroffenen Erzeuger von Selbstvertrauen, intellektueller Begeisterung und Motivation für Problemlösen und kreatives Denken an.“ [Bruner, 1981, S. 21]. Er entwickelte die Entdeckungstheorie und sah das Problemlösen mit strukturierten Suchstrategien als zentralen Bestandteil des entdeckenden Lernens. Die Grundzüge des entdeckenden Lernens lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Beim entdeckenden Lernen steuert der Lernende selbst den Lernprozess.
- Die Informationen sind selbstständig vom Lernenden zu entdecken und zu ordnen, um daraus Wissen zu generieren, Regeln abzuleiten und Konzepte zu bilden. Dies ist dann auf neue Probleme anzuwenden.
- Neugier und Interesse sind Katalysator für das Lernen. Das Entwickeln von Lösungsansätzen und Lösungsstrategien steht im Vordergrund. [Holzinger, 2001a, S. 137]

Wie auch von Schulmeister bestätigt, ist beim selbstgesteuerten Lernen ein hoher Grad an Motivation ausschlaggebend [Schulmeister, 2002]. Dabei hängt der Lernerfolg vom jeweiligen Lernenden ab. Er differenziert z.B. zwischen selbstsicheren, kompetenten Lernenden und miss-erfolgsängstlichen Lernenden, die in manchen Fällen überfordert werden könnten [Schulmeister, 2002]. Daraus entwickeln sich zwei Formen des entdeckenden Lernens. Einerseits das selbstentdeckende Lernen „self discovery learning“, das ohne weitere Hilfe und Steuerung des Lehrenden ganz in den Händen des Lernenden liegt und andererseits das geführte entdeckende Lernen „guided discovery learning“, bei dem die Lehrkraft durch die Bereitstellung der Themenauswahl und des Arbeitsmaterials lenkend eingreift.

Nach [Neber, 1981] zeichnet sich das entdeckende Lernen durch drei spezielle Lernarten ab:

1. Lernen durch Beispiele: Der Schwerpunkt liegt darin, Hypothesen zu einem Sachverhalt zu bilden und diese dann zu überprüfen. Auszeichnende Merkmale werden dabei identifiziert und analysiert.
2. Lernen durch Experimente/Praktika: Nach [Bruner, 1981] ist Lernen am erfolgreichsten, wenn die drei folgenden Repräsentationsebenen durchlaufen werden können: die ikonische Ebene (Zeichnung, bildliche Darstellung), die enaktive Ebene (Handlungsebene) und die symbolische Ebene (symbolische Darstellung z.B. Zahlen, Buchstaben). Beim erfolgreichen Absolvieren eines Praktikums werden somit alle drei Ebenen durchlaufen.
3. Lernen durch Konfliktlösung: Ein Problem steht im Mittelpunkt, welches beim Lernenden einen kognitiven Konflikt auslösen soll. Das Problem wird eigenständig bearbeitet und nach Möglichkeit gelöst.

Um die Qualität der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung zu steigern, sind Versionen des entdeckenden Lernens und damit auch das Lernen durch Experimente bzw. Praktika zu favorisieren. Beim Experimentieren wird das Lernen um Problemlösephasen erweitert.

Konstruktivismus

„Lernen wird im konstruktivistischen Ansatz als ein aktiver Prozess gesehen, bei dem Menschen ihr Wissen in Beziehung zu ihren früheren Erfahrungen (bzw. Wissen) in komplexen realen Lebenssituationen konstruieren.“ [Baumgartner&Payr, 1994, S. 107] Im Gegensatz zum Kognitivismus steht nicht das Lösen vorhandener Probleme im Vordergrund, sondern das selbstständige Generieren von Problemen und Fragestellungen. Der Lehrende wird zum Begleiter (Moderator, Coach bzw. Trainer).

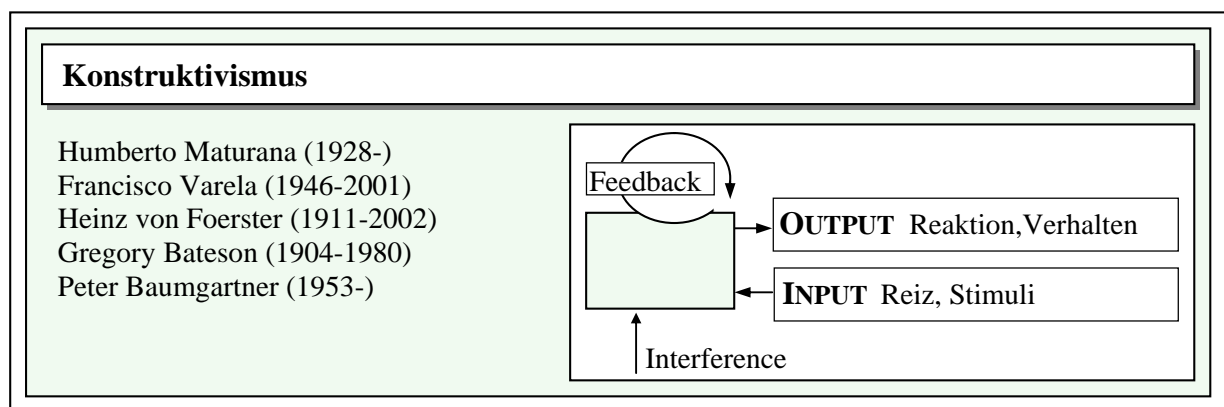


Abbildung 2.3 Schematisches Lernmodell und wichtige Vertreter des Konstruktivismus

Lernen nach dem konstruktivistischen Paradigma bedeutet: „Wahrnehmen, Erfahren, Handeln (Entscheiden und Problemlösen), Erleben und Kommunizieren in sozialer Interaktion mit der Umwelt und anderen Lernenden in jeweils möglichst realen Problemsituationen.“ [Holzinger, 2001a, S. 149]. Lernen ist also sowohl ein individueller als auch ein sozialer Prozess.

Die Kernaussage des Konstruktivismus ist: „Individuen reagieren nicht auf die objektive Welt, sondern sie bilden eine subjektive Realität ab, die auf individuellen Konstruktionen und Interpretationen von der Welt basiert.“ [LernpsychInteraktiv]

Die Strategie der Konstruktion wird in hypermedialen Strukturen der Lern- und Informationseinheiten realisiert. Sie unterstellt einen Lernenden, der in der Lage ist, sein Lernen von Anfang bis Ende selbständig zu organisieren. [Haack, 1997]

2.2.3 Lernzielkontrolle und Feedback

Neben der Bereitstellung didaktisch und multimedial aufbereiteter Inhalte, besteht eine wichtige Funktionalität einer Lernumgebung in der Erfassung und Auswertung des Lernfortschritts. Zum effektiven Lernen gehören also auch die Lernzielbestimmung und die Lernkontrolle, d. h. die Überwachung des Lernerfolgs. Kompetente Lerner planen ihr Lernen nicht nur, sondern kontrollieren die Lernergebnisse im Idealfall sowohl während, als auch im Anschluss an das Lerngeschehen [Lernkontrolle]:

formative Strategien: Lernbegleitende Kontrollstrategien kommen dann zum Einsatz, wenn es beim Lernen Probleme gibt. Der Lerner stößt z. B. auf einen Widerspruch. Er wird nun versuchen, diesen Widerspruch beispielsweise durch nochmaliges Lesen des Textes oder durch Hinzuziehen weiterer Literatur zu lösen. Darüber hinaus kann er sich lernbegleitende Fragen, z. B. nach wichtigen Begriffen, stellen.

summative Strategien: Lernkontrolle kann auch am Ende des Lernvorgangs stehen. Der Lerner überprüft dabei z. B. ob er vorher formulierte Lernziele erreicht hat oder er versucht das Gelernte zu wiederholen.

Diskussion von Lernkontroll-Möglichkeiten

Bei der Umsetzung von Lernkontrollfunktionen in multimedialen Lernumgebungen besteht einerseits eine starke Abhängigkeit von den Interaktionsmöglichkeiten, die die Benutzerschnittstelle (z.B. der Browser) bietet. Andererseits wird sie auch von der jeweiligen Fachspezifik und dem möglichen Realisierungsaufwand bestimmt. Allgemein haben sich bei E-Learning-Angeboten die in Tabelle 2.2 dargestellten Fragemethoden etabliert, die auch in diversen Autorensystemen in unterschiedlicher Ausprägung und Variabilität zu finden sind:

Tabelle 2.2 Fragemethoden und Antwortmöglichkeiten

<div> <div>Stromstärke = <input type="text" value="10"/> <input type="text" value="A"/></div> <div>Vorname: <input type="text" value="Hubert"/></div> <div>Kommentar: <input type="text"/></div> </div>	<div> <div> Textfragen/Numerische Aufgaben: <p>Die Antwort besteht aus einem Text (z.B. einzelnes Wort, komplexer Text) bzw. einer Zahl (evtl. mit Einheit). Dies erfordert Eingabefelder für Zahlenwerte oder ein-/mehrzeilige Texte bzw. einzelne Wörter, die auch innerhalb von Lücken-text genutzt werden können.</p> </div> </div>												
<div> <div> Signalform: <div> <input type="radio"/> Sinus <input type="radio"/> Rechteck <input checked="" type="radio"/> Dreieck </div> </div> <div> Symmetrieeigenschaft: <div> <input type="checkbox"/> Achsensymmetrie <input checked="" type="checkbox"/> Halbwellensymmetrie <input checked="" type="checkbox"/> Nullpunktsymmetrie </div> </div> </div>	<div> <div> Multiple-Choice-Fragen: <div> - Einfachauswahl: <p>eine Antwort aus mehreren möglichen ist die Richtige</p> </div> <div> - Fragen mit Mehrfachauswahl von Antwortmöglichkeiten: <p>mehrere Antworten können aus mehreren möglichen Vorgaben ausgewählt werden</p> </div> </div> </div>												
<div> <div>Wählen Sie ein Mikrofon</div> <div> <div>Kondensatormikrofon</div> <div>dynamisches Mikrofon</div> <div>Kohlemikrofon</div> </div> </div>	<div> <div> Zuordnungsfragen: <p>mit Einfach-/Mehrfachauswahl:</p> <p>die Antwort wird aus einer Liste gewählt</p> </div> </div>												
<div> <table> <tr> <td></td> <td>gut</td> <td>mittel</td> <td>schlecht</td> </tr> <tr> <td>Funktion</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Design</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> </table> </div>		gut	mittel	schlecht	Funktion	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Design	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<div> <div> Matrixfragen: <p>zweidimensionale Fragen mit einer Fragenliste und Antwortmöglichkeiten je Teilfrage, die in Matrixform erstellt wird (als Einfach- oder Mehrfachauswahlfragen möglich)</p> </div> </div>
	gut	mittel	schlecht										
Funktion	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>										
Design	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>										
<div> <div> </div> </div>	<div> <div> Anordnungsfragen: <p>vorgegebene Objekte/Begriffe sind in eine richtige Reihenfolge (z.B. für Rankings) bzw. in eine bestimmte Relation zueinander zu sortieren</p> </div> </div>												

In Dialogform werden die verschiedenen Fragearten bereitgestellt, die zum jeweiligen Kontext des zu überprüfenden Lerninhalts passen. Für die Überprüfung der Eingaben ist die Antwortanalyse zuständig. Sie bildet das Kernstück der Lernkontrolle. Ihre Mächtigkeit entscheidet über die Flexibilität des Feedbacks und die Differenziertheit der Auswertung. So ist z.B. das Erkennen und Korrigieren von Tippfehlern, das Erkennen von Synonymen sowie unterschiedlicher Eingaben semantisch gleicher Bedeutung („zwei“ = „2“) wünschenswert.

Die Komplexität der Antwortanalyse bestimmt die Möglichkeiten und die Variabilität des Feedbacks. So ließe sich ein mehrstufiges Feedback folgendermaßen strukturieren:

- einfaches Feedback: Antworten werden mit „richtig“ oder „falsch“ bewertet.
- qualifiziertes Feedback: Es werden zusätzliche Informationen angeboten, die zur Beantwortung der Frage beitragen bzw. es werden weitere hinführende Fragen gestellt.
- Auflösung: Es wird die richtige Antwort präsentiert. [Feedback1]

Soll eine automatische Antwortanalyse erfolgen, um z.B. dem Lernenden ein entsprechendes Feedback zu geben oder sogar eine wissensangepasste Aufgabenbereitstellung, ist ein sehr hoher Aufwand nötig. Forschungsarbeiten aus dem Bereich Künstliche Intelligenz beschäftigen sich u.a. mit dieser Problematik.

3 Stand der Technik

3.1 Einsatz und Verbreitung von Lernsoftware

„Wer neue Wege beschreiten möchte, sollte sich zunächst der schon von anderen gegangenen Pfade vergewissern.“ [Glowalla&Schoop, 1992, S. 4]. In diesem Sinne dient dieses Kapitel dazu, einen Überblick über den aktuellen Stand interaktiver Lernumgebungen zu vermitteln. Dabei stößt man auf eine schier unüberschaubare Anzahl von Bestrebungen, Initiativen und Projekten, die Wissensvermittlung in allen erdenklichen Fachrichtungen durch den Einsatz von Computern zu unterstützen. Wie schon einleitend im Kapitel 1.1 dargestellt, sind besonders durch die Initiative des BMBF „Neue Medien in der Bildung“ wichtige Voraussetzung für computerunterstützte Lehr- und Lernsysteme in Deutschland geschaffen worden. Um jedoch eine Einschätzung und Übersicht, der für die hier vorliegende Arbeit relevanten Projekte, vornehmen zu können, ist eine Einschränkung auf die beiden folgenden Fragestellungen notwendig:

1. Welche inhaltlich-fachlich relevanten Ansätze sind bisher realisiert?
2. Welche technisch relevanten Ansätze sind bisher realisiert?

Lernprogramme aus inhaltlich-fachlicher Sicht

Da es sich bei der Signal- und Mustererkennung um eine Fachrichtung handelt, die in die verschiedensten Ingenieurwissenschaften hineinragt, muss die Betrachtung hier fächerübergreifend geschehen. So sind Arbeiten z.B. aus der Messtechnik, der Mathematik, der theoretischen Nachrichtentechnik und der Signalverarbeitung genauso von Bedeutung, wie Arbeiten aus der Elektrotechnik, Elektronik und Automatisierung- und Regelungstechnik. Dabei sind u.a. die Projekte von besonderem Interesse, die einen labor- bzw. praktikumsähnlichen Einsatz zum Ziel haben.

Lernprogramme aus technischer Sicht

Mit der Zielsetzung eine Lernumgebung für die Signal- und Mustererkennung, wie sie anhand der Erfordernisse in den folgenden Kapiteln 3.3 und 3.4 abgeleitet wird, zu konzipieren, werden Arbeiten basierend auf verschiedenen Software-Konzepten dargestellt. Beim Versuch einer Systematisierung und Einteilung von Lehr-/Lernsoftware sind verschiedene Aspekte zu berücksichtigen.

- Eine Klassifizierung, die sich durchgesetzt hat und die eine Einteilung nach technischen Merkmalen vornimmt, wird von Holzinger vorgestellt. Dabei wird zwischen folgenden Lehr-/Lernprogramm-Typen unterschieden, die in komplexen Lernumgebungen auch in Kombination anzutreffen sind: Präsentations- und Visualisierungssoftware, Drill- und Practice-

Programme, tutorielle Systeme, intelligente tutorielle Systeme, Simulationsprogramme, Hypermedia-Programme, Lernspiele, Mikrowelten und Modellbildung [Holzinger, 2001a, S. 225].

- Die Möglichkeiten und Grenzen beim Einsatz tutoriell geführter Lernprogramme im Vergleich zu professionellen Softwaretools lassen sich wie folgt ableiten:
geführte Lehr/Lernprogramme: Hierbei handelt es sich um Software, die speziell auf den Fachinhalt bzw. auf das Lernziel zugeschnitten ist und die nur in der zur Verfügung gestellten Art und Weise genutzt werden kann. Sie ist in der Regel als tutorielles oder intelligentes tutorielles System realisiert und erfordert keinen großen Einarbeitungsaufwand; ist aber nur mit eingeschränkter Flexibilität hinsichtlich eigener Kreativität des Lernalers nutzbar, d.h. mit festen Grenzen hinsichtlich Funktionsumfang und Eingriffsmöglichkeiten.
professionelle Softwaretools: Beim Einsatz professioneller Simulationssoftware, wie z.B. Matlab, LabView, SimuLink, DASYLab, besteht nicht die Möglichkeit der direkt geführten Problemlösung. Ein Lehrbuch in Zusammenhang mit Beispielaufgaben und vorprogrammierten Übungen für diese Software bietet eine Lernunterstützung bei der ingenieurmäßigen Arbeiten gefragt ist. Es bietet die Möglichkeit der Erweiterung der vorbereiteten Aufgaben und Anwendung auf eigene Aufgabenstellungen. Es erfordert jedoch eine mittlere bis intensive Einarbeitung in die spezifische Programmbedienung bzw. Programmiersprache.
- Weiterhin ist zwischen Standalone Software und den über ein Rechnernetz (Internet, Intranet) von einem zentralen Rechner aufrufbaren Programmen (Client-Server-Anwendung) und den damit verbundenen Kommunikationsformen zu unterscheiden. Eine weitere Komponente ist zu berücksichtigen, wenn es hierbei zusätzlich zum Abrufen von Daten und Programmen auch zur Steuerung einer Anwendung (Simulation, realer Versuchsaufbau usw.) vom Client aus auf der Serverseite kommt, wie es das Prinzip bei virtuellen bzw. ferngesteuerten Versuchen bzw. Laboren (remote labs) ist.

Eine Auswahl von Beispielanwendungen

Nachfolgend sollen einige ausgewählte Anwendungen und Typen von Lehr-/Lernsoftware vorgestellt werden, die für die Einordnung und Konzeption dieser Arbeit von Bedeutung waren.

Lern-/Lehrsoftware in Kombination mit einem Lehrbuch

- Das Buch „**Signal, Prozesse und Systeme**“ von Ulrich Karrenberg mit der CD-ROM „...“ bilden ein Lernsystem, welches selbsterforschendes Lernen und die Visualisierung komplexer Vorgänge der Signalverarbeitung möglich macht. Dahinter steckt ein didaktisches Konzept „...“, welches auf die Visualisierung von Signalen und Prozessen sowie auf die grafische Programmierung signaltechnischer Systeme setzt. Durch die Verwendung einer professionellen

und weltweit eingesetzten Software (DasyLab¹) der Mess-, Steuerungs-, Regelungstechnik können verwertbare Applikationen entwickelt, modifiziert und optimiert werden - die computergestützte Verarbeitung realer Signale über die Soundkarte und den Parallelport wird möglich.“ [Karrenberg, 2004]. Da es sich bei dieser Software um eine professionelle Entwicklungsumgebung zur grafischen Programmierung signalverarbeitender Systeme handelt, kann der Anwender nach eigenen Vorgaben Versuche aufbauen, verändern und reale analoge Signale ein- oder ausgeben. Das Buch behandelt u.a. die Themen: Signale im Zeit- und Frequenzbereich, Systemanalyse, lineare und nichtlineare Prozesse, Modulation und Digitalisierung. Das didaktische Grundprinzip beruht auf einem physikalisch basierten Herangehen und dem Verzicht auf mathematische Modellierung signaltechnischer Phänomene.

technische Kurzbeschreibung: Lehrbuch mit CD-ROM (mit Simulations-Software und mit auf die Buchinhalte abgestimmten, vorprogrammierten Beispielen)

- Das Buch „**Technische Mechanik – multimedial**“ von Klaus Zimmermann bietet mit der CD-ROM ein umfassendes Lehrmaterial, bestehend aus Aufgaben, Lösungen, Formelsammlung und mathematischen Grundlagen für die Behandlung des Problems der Modellbildung mit dem Schwerpunkt Schwingungstechnik. Im Einzelnen dienen eine geführte Tour, diverse Audio- und Videosequenzen, Animationen, Simulationen und ein Glossar zur anschaulichen und verständlichen Vermittlung des Weges vom technischen System über das mechanische Modell zur mathematischen Lösung. Eingebettet in eine vielseitige und abgestimmte Webpräsenz² des Fachgebietes Technische Mechanik der TU Ilmenau mit z.B. Vorlesungsskripten, Aufgaben und Simulationen wird das Lehr- und Übungsbuch der Technischen Mechanik zu einer Lern- und Übungskomponente zum Selbststudium und zur Prüfungsvorbereitung sowohl im Direktstudium als auch für die Weiterbildung. Bei der Software-Erarbeitung wurde das Konzept des "Entdeckendes Lernen" (Konstruktivismus) verfolgt. So ist „...ein aktives Auseinandersetzen mit dem Lehrstoff durch den Einbau interaktiver Elemente gegeben (z. B. Verschieben von Kraftpfeilen, ...) ...“.[Zimmermann, 2003]

technische Kurzbeschreibung: Übungs-/Aufgabenbuch mit CD-ROM (speziell entwickelte Lehrsoftware mit geführter Tour, Aufgaben, Formelsammlung, Audio- und Videosequenzen und Glossar) mit inhaltlich und formatspezifisch abgestimmter Webpräsenz

Virtuelle Geräte

- Bei dem **virtuellen Oszilloskop**³ von P. Debik handelt es sich um eine interaktive Simulation eines analogen 20 MHz Oszilloskops (nach dem Vorbild des HAMEG 203-6 Zweikanal-Oszilloskops) auf der Grundlage von Macromedia Shockwave, welches über das Internet

¹ DASYLab - Data Acquisition System Laboratory ein Produkt der National Instruments Inc.

² <http://www.maschinenbau.tu-ilmenau.de/mb/wwwtm/tm.htm> (letzter Zugriff: 30.09.2005)

³ <http://www.virtuelles-oszilloskop.de> (letzter Zugriff: 30.09.2005)

verfügbar ist. Die realitätsgetreue Abbildung des Oszilloskops verbunden mit den Erläuterungen aller Bedienelemente stellt ein Lernmodul dar, welches neben der visuellen Darstellung viel Wert auf die akustische Rückkopplung legt. Es bietet die Möglichkeit, eigene Messsignale zu importieren. Das Oszilloskop ist nicht in eine Lernumgebung eingebettet. Es unterstützt das Lernen nach dem konstruktivistischen Ansatz nach dem der Lerner sich aktiv mit dem Modul auseinandersetzen und die erforderlichen Kenntnisse im Umgang mit dem Gerät, unterstützt z.B. durch Literaturstudium, selbst entwickeln soll.

- **Virtuelles Mischpult, Fourier-Reihen, Funktionsgenerator**

Web-Anwendungen, wie **Fourier Synthesis (Fourier Series)**⁴ von Fu-Kwun Hwang (mit akustischer Wiedergabe) und das **Amplituden- und Phasenmischpult**⁵ aus der Experimentierumgebung des Lernprogramms Fourier-Reihen der TU Ilmenau unter Federführung von E. Wagner dienen der Simulation ausgewählter signaltheoretischer Zusammenhänge. Der Lernende „soll ein Gespür dafür bekommen, welchen Beitrag einzelne Harmonische mit Amplitude und Phase zum Gesamtbild einer Signalfunktion leisten“ bzw. können damit die Ergebnisse der Fourier-Analyse überprüft werden [GETsoftFourierReihe]. Der besondere Vorteil liegt darin, dass diese Geräte individuell, d.h. sowohl für den Einsatz zum Aufgabenlösen als auch zum aufgabenunabhängigen Experimentieren geeignet sind.

technische Kurzbeschreibung: Einzelanwendungen für freies Experimentieren als Einzelprogramme oder über das Internet in einem Webbrowser (z.B. als Applet oder basierend auf Shockwave-Technologie) verfügbar

Webbasierte Lernumgebungen

- **GETSoft**⁶ unter Leitung von E. Wagner: Mit dieser internetbasierten, multimedialen Lernumgebung wird die Lehre (Vorlesung, Übung, Praktikum, Selbststudium, Betreuung) in der elektrotechnischen Grundlagenausbildung und in der Weiterbildung auf vielfältigste Weise unterstützt. Hauptkomponenten der Lernumgebung sind: **LearnWeb** mit Lernprogrammen und –modulen zu den wichtigsten Teilgebieten der Elektrotechnik u.a. bestehend aus Kompendien, Beispielaufgaben, Animationen, Simulationen und hochinteraktiven Experimentierumgebungen, **TaskWeb** als datenbankunterstützte Aufgabensammlung mit abgestuften Hilfen und Lösungshinweisen, **BookWeb** zur Verzahnung von Lehrbuch und Lernumgebung und dem **GET Forum** zur Kommunikation und zum Datenaustausch. Mit GetSoft soll „zum eigenständigen Lernen motiviert, das selbst organisierte Lernen unterstützt und der Lernansatz des kooperativen Lernen erweitert werden.“ [GETsoft]. Durch die Integration von CAS und Modulen zur virtuellen Praktikumsvorbereitung wird der Handlungsspielraum zusätzlich erweitert.

⁴ <http://www.phy.ntnu.edu.tw/java/sound/sound.html> (letzter Zugriff: 30.09.2005)

⁵ http://www.stud.tu-ilmenau.de/~getsoft/_fouriertest/ger/index2.html (letzter Zugriff 30.09.2005)

⁶ <http://www.getsoft.net> (letzter Zugriff: 30.09.2005)

- **LernSTATS⁷** unter Leitung von R. Schulmeister: LernSTATS ist ein Statistik-Lehr-/Lernprogramm vordergründig für Psychologen und Sozialwissenschaftler. Es ermöglicht entdeckendes Lernen und kann im Gruppenunterricht und als individuelles Selbstlernprogramm eingesetzt werden. Das didaktische Konzept von LernSTATS betont vier Prinzipien: Herstellung eines Inhaltsbezugs der Methoden und Statistik zur Psychologie, Gestaltung der Lernsituationen nach dem Modell des entdeckenden Lernens, computerunterstützte Arbeit in Gruppen und direktes Feedback im Lernprozess. Neben interaktiven Übungen mit wiederholten Möglichkeiten zur Manipulation (z.T. als Puzzles und Rätsel) wird ein Statistik-Buch, ein Glossar und eine Online-Hilfe angeboten. Verschiedene zweidimensionale Methoden der Visualisierung veranschaulichen die erklärten Konzepte und Relationen. Diagramme und Grafiken sind ebenso interaktiv vom Lernenden zu manipulieren wie Tabellen. Animationen illustrieren funktionale Mechanismen von Formeln durch Hervorhebung der berechneten Daten oder durch visuelles "Wandern" der Daten in die Grafik. Damit wird mit dem Lernprogramm versucht, bestimmte didaktische Prinzipien zu verwirklichen, die für die Motivation und das kognitive Lernen wichtig sind.

technische Kurzbeschreibung: Webanwendungen mit multimedialen Dokumenten und interaktiven Komponenten

virtuelle Versuche, Experimente und Labore

- **VELO – Virtual Electronic Laboratory⁸** unter Leitung von M.E. Auer: Mit dem Projekt VELO unter Federführung der FH Technikum Kärnten wird den Studierenden die Möglichkeit gegeben, ausgehend von multimedial aufbereiteten Vorlesungs- und Übungsmodulen, verschiedene Simulationen unabhängig von Ort und Zeit durchzuführen und über ein Evaluationswerkzeug ein unmittelbares Feedback (formativ, summativ) über den Lernerfolg zu erhalten. Über die Online-Darstellung einer Laborsituation soll theoretisches Wissen mit praktischen Erfahrungen verknüpft werden. Integriert werden dabei multimediale Vorlesungs- und Übungsblätter, Evaluierungstools zur Laboreingangs- und Ausgangsüberprüfung und ein Laborteil. Beispiellaborübungen sind in Form von interaktiven Simulationen realisiert.

technische Kurzbeschreibung: Browseranwendung, die zur Lösung konkreter Aufgabenstellungen Simulationen in Form von Applets bzw. MATLAB-Arbeitsblätter bereitstellt und so die Anwendung in einem Labor vorbereitet bzw. simuliert

- **Interaktive Bildschirmexperimente: Elektrizitätslehre** von J. Kirstein: An der TU Berlin wurden unter Federführung von Dr. J. Kirstein die Interaktiven Bildschirmelemente (IBE) entwickelt. Bei den IBE's handelt es sich um fotografisch aufgenommene und auf dem Computerbildschirm abgebildete Realexperimente, die interaktiv mit der Maus bedient werden

⁷ <http://www.lernstats.de/web/php/index.php> (letzter Zugriff: 30.09.2005)

⁸ <http://ola.cti.ac.at/velo> (letzter Zugriff: 30.09.2005)

können. Das realitätsgetreue Abbild eines Experiments soll dem Lerner ein möglichst einfaches, natürliches Bildverstehen ermöglichen und ihm dabei helfen, die im Abbild enthaltene didaktische Botschaft (zentrale Information und Verarbeitungshinweise) zu erkennen. Es soll reale Erfahrungsmöglichkeiten simulieren. Dabei handelt es sich nicht um Simulationen sondern um die Wiedergabe von Zuständen des Realexperimentes. Es werden Experimente für den Physikunterricht zur Thematik Elektrizitätslehre bereitgestellt, die zur Ergänzung (Vor- und Nachbereitung, beliebiges Wiederholen) der Realexperimente für Schüler konzipiert sind.

technische Kurzbeschreibung: CD-ROM mit speziell entwickelter Lehrsoftware, die neben der virtuellen Experimentierumgebung theoretisches Hintergrundwissen und Beispielmessungen bzw. -lösungen bereitstellt

- **GenLab – virtuelles gentechnisches Praktikum⁹** unter Leitung von H.-J. Appelrath: „GenLab ist ein multimediales System zum Erlernen der theoretischen und praktischen Grundlagen der Gentechnologie. Kernstück von GenLab ist ein virtuelles Labor zur interaktiven Simulation gentechnischer Experimente. Daneben veranschaulicht eine umfangreiche Wissenskomponente die entsprechenden molekularbiologischen Abläufe und erläutert den richtigen Umgang mit Laborutensilien und Reagenzien.“ [GenLab]. Der Grundgedanke des Labor-konzeptes ist es, Experimente im virtuellen Labor so realitätsgetreu wie möglich durchführen zu können. Dabei kommen die Vorteile gegenüber realen Praktika in Form einer ständigen Fehlerüberwachung, Steuerungs- und Korrekturmöglichkeiten sowie einer engen Verknüpfung zur Informationskomponente zum Tragen. GenLab verlangt, angelehnt an reale Praktika, ein konstruktives selbständiges Erarbeiten der Materie nach dem "trial-and-error" Prinzip.

technische Kurzbeschreibung: Web-Anwendung, die ein reales Labor virtuell in 3D-Perspektive (mittels Cinema 4D XL von Maxon) nachbildet und neben virtuellen Experimenten das freie Navigieren im Raum zwischen mehreren Arbeitsplätzen und einem Nebenraum bereitstellt.

Ferngesteuerte reale Experimente

Eine völlig neue Dimension erlangen Anwendungen, die es dem Lernenden ermöglichen, mit einem konventionellen Browser über das Internet, ein reales Experiment oder Praktikum ferngesteuert durchzuführen. Das Konzept dieser ferngesteuerten Labore (**remote labs**) erweitert die bisher eher eindimensional orientierte Nutzung des Internets als Werkzeug zur reinen Informationsbeschaffung in Richtung eines gestaltenden Mediums, bei der die Nutzer aktiv bei der Schaffung neuer Lösungen beteiligt werden. Studierende, Teilnehmer an universitären Weiterbildungsveranstaltungen oder Mitglieder räumlich verteilter Forschergruppen erhalten im Rahmen der Lehre oder im Kontext übergreifender Projekte Zugriff auf simulierte, animierte Prozess- und Anlagenmodelle und auf reale Mess- und Automatisierungsgeräte, Produktionsanlagen, Versuchsaufbauten oder beispielsweise auf mobile Roboter, die an weit entfernten

⁹ <http://www.offis.de/genlab/index.shtml> (letzter Zugriff: 30.09.2005)

Orten Aufgaben erledigen. Der Zugang zu dieser Laborform erfolgt über virtuelle Messinstrumente, virtuelle Bedienkonsolen und virtuelle Programmier- und Automatisierungsgeräte. Die Beispiele reichen bisher von einfachen Demonstrationen wie sie im **Deutschen Museum München**¹⁰ (Die optische Pinzette, Der Roboter) zu finden sind, bis hin zu Steuerungen von Roboteranordnungen (z.B. **eLab**: ferngesteuerte Labore und Praktika am Beispiel webgesteuerter Robots an der **TU Ilmenau**) bzw. Anwendungen der Automatisierungs-, Steuer- und Regelungstechnik (z.B. der Versuch „**2D-Laufkatzensteuerung**“ an der **TU Ilmenau** im Rahmen des Projektes „FIPS“¹¹; das Düsseldorfer **Telelabor**¹², ein Teilprojekt aus Control-Net - Lernmodulen der Automatisierungstechnik).

Zusammenfassung

Die Entwicklungen der letzten 25-30 Jahre haben sehr differenzierte Lernprogramme entstehen lassen. Wie eingangs erwähnt, erweist sich eine Kategorisierung bewertet nach einzelnen Kriterien als schwierig. Für die Betrachtung wurde eine Einteilung in die fünf oben aufgeführten Kategorien gewählt (vgl. auch Abbildung 3.1), die sich auf Arbeiten konzentriert, die für die vorliegende Arbeit relevant sind. Arbeiten z.B. zu intelligenten Lernprogrammen wurden in diesem Zusammenhang nicht vorgestellt. In Auswertung der eingangs diskutierten Kriterien aus inhaltlich-fachlicher und aus technischer Sicht lassen sich die in der Abbildung 3.1 dargestellten Ideen und Erfahrungen aus den vorgestellten Projekte für die Entwicklung der Lernumgebung ableiten. Die Lernumgebung vPSM vereint inhaltliche, mediendidaktische und technologische Erfahrungen und Entwicklungen entsprechend der Darstellung. So ließen sich auf einer neuen Stufe Funktionalitäten implementieren, die es dem Lernenden z.B. gestatten, eigene Problemstellungen mit eigenen Signaldaten zu bearbeiten, was so bisher in keinem anderen Programm möglich ist.

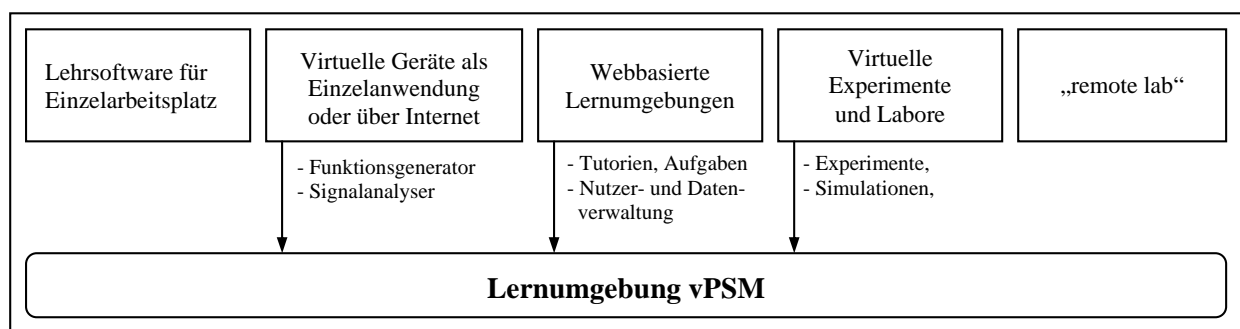


Abbildung 3.1 Zuordnung verwandter Arbeiten

¹⁰ <http://www.remote-lab.de/labor> (letzter Zugriff: 30.09.2005)

¹¹ <http://wcms1.rz.tu-ilmenau.de/fakia/Projekte.1749.0.html> (letzter Zugriff: 30.09.2005)

¹² <http://control-net.fh-duesseldorf.de/dt/index.asp> (letzter Zugriff: 30.09.2005)

3.2 Mathematische und datenverarbeitende Softwaresysteme für die Ingenieurausbildung

Bei der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung sind die Anforderungen an die Erfassung und Umsetzung mathematisch-algorithmischen Know-hows ausgesprochen hoch. Das Einbeziehen mathematischer und anderer datenverarbeitender Softwarepakete ist dabei unumgänglich. Von einem Ingenieur wird heute erwartet, dass er neben der Bereitstellung seiner Fachkompetenz in der Lage ist, komplexe Softwaresysteme zu überblicken und geeignete Werkzeuge zur Lösung einer komplexen Aufgabenstellung heranzuziehen und selbstständig zu integrieren. Zur Vorbereitung der Studierenden auf die Berufspraxis werden sie während ihrer Ausbildung mit verschiedenen, computerbasierten Ingenieurwerkzeugen (CAS¹³ und CAD¹⁴) konfrontiert. Sie lernen, wie Routineberechnungen auf dem Rechner durchzuführen sind und können sich so stärker auf die wesentlichen Schritte in der Anwendung der Methodik und Mathematik konzentrieren: auf das Formulieren der Problemstellung in mathematischer Form und auf die Interpretation der gefundenen Lösung.

Einsatz von CAS in der Signal- und Mustererkennung

Bei der Signalverarbeitung und Mustererkennung geht es vordergründig darum, Informationen aus einem empfangenen bzw. gemessenen Signal zu gewinnen, die Daten zu reduzieren bzw. die Signale aufzubereiten und letztendlich das maschinelle Erkennen und Auswerten von Muster in Signalen zu realisieren. Diese Prozesse setzen ein leistungsfähiges mathematisches bzw. datenverarbeitendes Softwaresystem voraus. Zur Vermittlung der signalverarbeitenden und mustererkennenden Sachverhalte ist ein System notwendig, welches die Darstellung der mathematischen und, wie Karrenberg betont, der physikalischen Grundlagen anschaulich ermöglicht [Karrenberg, 2002, S. 17].

„Die Integration eines Computer-Algebra-Systems als Werkzeug bei der Theorieaneignung, beim Aufgaben- und Problemlösen erlaubt dabei die Konzentration auf das Wesentliche durch die Entlastung von rechnerischen Details und das Beschreiten neuer Wege beim Erlernen inhaltlicher und methodischer Grundlagen (z.B. Simulation komplexer Sachverhalte, Darstellung dynamischer Vorgänge, [...]). Durch die Fähigkeit zur symbolischen und numerischen Berechnung sowie zur grafischen Darstellung der Ergebnisse ergeben sich neue Möglichkeiten der Interaktion, zur Ergebnisbewertung, für Lösungshinweise und für die Beantwortung von Fragestellungen. Ingenieurwerkzeuge sind also eine unverzichtbare interaktive Komponente multimedialer Lernumgebungen“ [Iakimtchouk&Wagner, 2000, S. 63] gerade beim Einsatz für

¹³ Computer-Algebra-System

¹⁴ Computer-Aided-Design-System

ein Fachgebiet mit extrem hohem mathematisch-algorithmischen Anteil wie der Signal- und Mustererkennung.

Auswahlkriterien

Bei der Vielzahl der existierenden mathematischen Tools und Softwaresysteme besteht die Problematik, für den aktuellen Anwendungsfall, d.h. für die Entwicklung einer interaktiven Lernumgebung zur Signal- und Mustererkennung, das günstigste System herauszufinden. Dabei sind ein paar wesentliche Gesichtspunkte hinsichtlich inhaltlich-technischer Funktionalität, deren Einsatzmöglichkeiten, Kosten, Verbreitung und Handhabung zu berücksichtigen. Sie seien nachfolgend in einer Art Anforderungskatalog exemplarisch zusammengefasst:

- Funktionsumfang,
- Möglichkeiten und Formate für Datenimport und Datenexport,
- Möglichkeiten der Integration in Internet-Applikationen,
- Bedienbarkeit: interaktive grafische Oberfläche, systemspezifische Programmiersprache, grafische Programmierung,
- externe Zugriffsmöglichkeiten auf Funktionalität und Programmierschnittstellen (API),
- Visualisierungsmöglichkeiten (2D, 3D, Animationen, Simulationen),
- Präsentationsmöglichkeiten, Erstellung von interaktiven e-Dokumenten bzw. e-Books,
- Bereitstellung zusätzlicher Bibliotheken für spezielle fachspezifische Algorithmen,
- Wiederverwendbarkeit eigener Quellen,
- Kosten und Lizenzen (Demoversionen, eingeschränkte Studentenversionen),
- Verfügbarkeit/Verbreitung an Hochschulen und in der Industrie

Eine Auswahl relevanter Softwaresysteme für die ingenieurwissenschaftliche Ausbildung und speziell für den Einsatz in der Signal- und Mustererkennung soll nun vorgestellt werden. Sie ist das Ergebnis der Recherche nach geeigneten Systemen zum Einsatz bei der Entwicklung der Lernumgebung vPSM. Eine Zusammenstellung und Evaluation verschiedenster Softwaresysteme ist auch in [Canizares&Faur, 1997], [SteinhausScientTools], [RieglerMathTools] und in [SymbolicNet] zu finden.

Mathematica

Hersteller: **Wolfram Research Inc.**¹⁵

Mathematica ist ein modulares mathematisches Werkzeugsystem mit integrierter Hochsprache, das strukturiert prozedural oder regelbasiert programmiert wird. Lösungen können sowohl exakt numerisch als auch symbolisch angegeben werden. Innerhalb der integrierten Software-

¹⁵ <http://www.wolfram.com> (letzter Zugriff: 30.09.2005)

Umgebung wird mit Notebooks gearbeitet. Es können komplette elektronische Dokumente mit Texten, Formeln, Bildern (2D, 3D), Animationen, Simulationen und Interaktionen erstellt und in der Lehre als interaktive Lernmodule eingesetzt werden. webMathematica gestattet die Verknüpfung mit dem Internet auf der Basis spezieller Tags, mit deren Hilfe Mathematica-Code in HTML- bzw. JSP-Seiten eingebaut werden kann. Mit J/Link wird eine Java-API zur Verfügung gestellt. Optionale Zusatzpakete für spezielle Anwendungsbereiche, wie z.B. Signals and Systems, Time Series, Wavelet Explorer, Neural Network, Fuzzy Logic u.a., sind verfügbar. Es ist als Studentenversion erhältlich.

Programmierschnittstellen: HTML, TeX, C, FORTRAN, MathLink, J/Link

MathCad¹⁶

Hersteller: **Mathsoft¹⁷ Engineering & Education Inc.**

MathCad ist ein leistungsfähiges System für mathematische Berechnungen, welches im Vergleich zu Mathematica eine deutlich geringere Funktionalität aufweist. Die "free form" Oberfläche ermöglicht die Integration allgemeingültiger mathematischer Notation, Grafik, und Text in einem interaktiven Worksheet. Da nicht extra eine Programmiersprache gelernt werden muss, ist eine problemlose und schnelle Einarbeitung und Anwendung möglich. Mathcad löst eine umfangreiche Palette mathematischer, statistischer und technischer Problemen. Es ist auch zur Erstellung von Präsentationen gut geeignet. Es ist als Studentenversion erhältlich.

Programmierschnittstellen: C++, Visual Basic

MatLab¹⁸

Hersteller: **The MathWorks¹⁹ Inc.**

MatLab ist eine leistungsstarke, umfassende und bedienerfreundliche Software für technische Berechnungen. Sie bietet Ingenieuren, Wissenschaftlern und Technikern ein einheitliches, interaktives System, das numerische Berechnungen, wissenschaftliche Visualisierung und Programmierung in sich vereinigt. MatLab ist speziell auf numerische Berechnungen und die grafische Ausgabe der Ergebnisse ausgelegt. Operationen mit (komplexwertigen) Vektoren und Matrizen stehen im Mittelpunkt. Durch die Vielzahl von Erweiterungen und anwenderspezifischen Lösungen, darunter Toolboxes (Bibliotheken) für Optimierungen, Bild- und Signalverarbeitung und Simulationen, hat es in der Industrie große Verbreitung gefunden. Es ist als Studentenversion erhältlich. Programmierschnittstellen: FORTRAN, Basic, C

¹⁶ <http://www.mathcad.de> (letzter Zugriff: 30.09.2005)

¹⁷ <http://www.mathsoft.com> (letzter Zugriff: 30.09.2005)

¹⁸ <http://www.mathworks.de/products/matlab> (letzter Zugriff: 30.09.2005)

¹⁹ <http://www.mathworks.de> (letzter Zugriff: 30.09.2005)

Maple²⁰Hersteller: **Maplesoft²¹, Waterloo Maple Inc.**

Maple ist ein sehr leistungsfähiges mathematisches Software-System. Es verbindet die Leistungsfähigkeit numerischer Methoden mit symbolischen Berechnungen. Die eigene Programmiersprache von Maple ist vergleichbar zu Pascal und bietet damit eine hohe Flexibilität, allerdings erfordert sie auch aufwendiges Lernen. Gearbeitet wird in Arbeitsblättern (worksheets) oder über die Kommandozeile. Das Einbinden zusätzlicher Bibliotheken zur Laufzeit erweitert den Standardfunktionsumfang. Die mit dem MathML-Gleichungsseditor erstellten interaktiven Gleichungen lassen sich zusammen mit Grafiken und Animationen in technischen Dokumentationen verwenden. Über Codegenerierungs-Routinen lassen mathematische Modelle in z.B. C- und Java-Programmcode umwandeln und in anderen Anwendungen nutzen. Die Funktionalität ist vergleichbar mit Mathematica. Als Studentenversion erhältlich.

Programmierschnittstellen: TeX, C, FORTRAN, MS Excel

MuPAD²²Hersteller: **SciFace Software²³, Universität Paderborn²⁴**

MuPAD ist ein modernes CAS mit einer offenen Umgebung für symbolisch-algebraische und numerische Berechnungen mit beliebiger Genauigkeit. Die komfortable Benutzeroberfläche (Notebook) kombiniert Textverarbeitung, mathematische Berechnungen, interaktive Grafikverarbeitung und eine Programmierungsumgebung mit integriertem Source-Level Debugger. Die Programmiersprache von MuPAD ist ähnlich der von Pascal und erlaubt es befehlsorientiert, funktional und objektorientiert zu programmieren. Die Benutzeroberfläche enthält ein graphisches Tool zur Visualisierung, einen integrierten Source-Level Debugger und eine Online Hypertext-Dokumentation und ermöglicht exploratives Lernen mittels zahlreicher "Click&Execute" Beispiele. Zusätzlich zu einer breiten Palette vordefinierter Funktionen aus nahezu allen mathematischen Fachgebieten und der Möglichkeit, das System mit eigenen Programmen und Datentypen zu erweitern, bietet MuPAD mächtige Visualisierungen in zwei und drei Dimensionen sowohl für statische Objekte als auch für zeitliche Abläufe. Auf Windows-Systemen bietet MuPAD ein Notebook-Konzept mit Unterstützung von OLE, ActiveX Automation, DCOM, RTF und HTML. Früher bot es die beste kostenfreie Alternative zu Mathematica und Maple. Heute ist es jedoch nur noch kommerziell erhältlich. Es gibt eine 30-Tage-Demoversion und eine Studentenversion. Programmierschnittstellen: C, C++

²⁰ <http://www.scientific.de/produkte/maple/index.html> (letzter Zugriff: 2004-12-14)

²¹ <http://www.maplesoft.com> (letzter Zugriff: 2004-12-14)

²² <http://research.mupad.de/about+M5d637b1e38d.html> (letzter Zugriff: 30.09.2005)

²³ <http://www.mupad.com> (letzter Zugriff: 30.09.2005)

²⁴ <http://research.mupad.de/> (letzter Zugriff: 30.09.2005)

DIAdemHersteller: **National Instruments Corp.**²⁵

DIAdem ist eine Software für die technische Datenverarbeitung. Sie dient der Messwert-erfassung und –archivierung und unterstützt eine Vielzahl unterschiedlicher Datei- und Daten-bankformate. Eingebettet in eine komfortable Bedienoberfläche stehen dem Anwender sämtliche erforderlichen Werkzeuge zur interaktiven Datenverwaltung, Auswertung, Berichterstellung und zur Automatisierung derartiger Arbeitsabläufe zur Verfügung. Über flexible Schnittstellen lässt sich DIAdem zudem leicht in bestehende Softwarelandschaften integrieren. Es zeichnet sich durch ein komplexes Datenmanagement-System aus, welches den Benutzer von der Daten-aufnahme und –verwaltung, über die interaktive Datensichtung und –analyse bis hin zur Ergebnispräsentation führt. DIAdem lässt sich in bestehende Systeme über Schnittstellen integrieren (ActiveX- und OLE- Schnittstelle für Datenaustausch, DLL-Schnittstelle zur programmtechnischen Funktionserweiterung) bzw. durch andere Applikationen steuern.

DasyLab²⁶Hersteller: **National Instruments**²⁷

Bei DasyLab handelt es sich um eine Messwerterfassungs- und Datenverarbeitungssoftware, bei der eine visuelle Programmierung verwendet wird. Dazu werden verschiedene Module („Bausteine“) geliefert, die jeweils einen signaltechnischen Prozess verkörpern. In Form von Blockschaltbildern lassen sich komplexe signaltechnische Systeme konfigurieren. Dazu sind die gewünschten Module auszuwählen, im Arbeitsblatt einzufügen, zu parametrisieren und zu verbinden. Es stehen je nach Lizenz folgende Modul-Baugruppen zur Verfügung: Eingang/Ausgang, Mathematik, Statistik, Anzeige, Datenreduktion, Signalanalyse, Steuern/Regeln u.a. Es gibt eine S-Version, die speziell für Schulen zusammengestellt ist. Die Messwerterfassung kann dabei ausschließlich über die Soundkarte erfolgen.

Zusammenfassung

Im Ergebnis der Untersuchung fiel die Wahl auf das Computer-Algebra-System Mathematica. Es erfüllt die eingangs aufgestellten Auswahlkriterien. Durch sein Konzept und die Funktionsfülle geht es weit über die gestellten Forderungen hinaus. Weiterhin sprechen die Verfügbarkeit an der TU Ilmenau, die jahrelangen Erfahrungen und die umfangreichen Materialien, die bisher mit diesem System erstellt wurden, für den Einsatz. Im Kapitel 5.3.1 wird auf die besonderen Merkmale und die Integration von Mathematica in Zusammenhang mit den spezifischen Anforderungen eingegangen.

²⁵ <http://www.ni.com/germany> (letzter Zugriff: 30.09.2005)²⁶ <http://www.dasylab.com> (letzter Zugriff: 30.09.2005)²⁷ <http://www.ni.com> (letzter Zugriff: 30.09.2005)

3.3 Umfeld einer Lernumgebung für die Signal- und Mustererkennung

Da durch die enorme Ausbreitung und die hohe Leistungsfähigkeit der digitalen Datenverarbeitungsgeräte die digitale Signalverarbeitung praktisch in alle Wissenschafts- und Anwendungsgebiete (Messtechnik, Sensortechnik, Steuer- und Regelungstechnik, Medizintechnik, Maschinenbau, Bildverarbeitung, Chemie, Wirtschaft et al.) Einzug gehalten hat, ist es für jeden Ingenieur, Physiker, Mathematiker und Informatiker lohnenswert, sich in den Grundlagen dieses Fachgebietes auszukennen. Dies kann regulär im Rahmen eines Präsenz- oder Fernstudiums bzw. ergänzend als Weiterbildung und/oder Spezialisierung geschehen; z.B. unterstützt durch eine interaktive Lernumgebung. Nachfolgend werden ein paar Aspekte dargestellt und diskutiert, die für die Konzeption und Realisierung der Lernumgebung für die Signal- und Mustererkennung von zentraler Bedeutung waren.

3.3.1 Inhalte und Ziele der Signal- und Mustererkennung

Unter der Signal- und Mustererkennung werden alle Bearbeitungsschritte verstanden, die das Ziel haben, Informationen aus einem empfangenen bzw. gemessenen Signal zu extrahieren und anhand der Informationen Gemeinsamkeiten in den Daten und Informationen verschiedenster Herkunft automatisch zu ermitteln. [Niemann, 1974, Vorwort].

Der sehr komplexe Prozess der Signal- und Mustererkennung reicht von der problemangepassten Messwerterfassung über verschiedene Verarbeitungsschritte (analog und digital) und komplexe Berechnungen bis hin zur Zuteilung von Klassenzugehörigkeiten. Bei der Klassifikation von Mustern geht es darum, „...“, dass ein relativ einfaches Muster - z.B. ein gedrucktes Schriftzeichen oder ein gesprochenes Wort – als Ganzes und unabhängig von anderen Mustern genau einer von mehreren Klassen zugeordnet wird.“ [Niemann, 1983, Vorwort 1. Auflage].

Stufen der Signalverarbeitung

Eine Übersicht über die Prozessschritte eines solchen Signalverarbeitungssystems ist in der Abbildung 3.2 dargestellt. In [Mekonnen, 1991, S. 3f] werden die einzelnen Komponenten unter dem Gesichtspunkt der Realisierung eines Erkennungssystem für die akustische Geräuschanalyse technischer Systeme beschrieben.

Entscheidend für das erfolgreiche Lösen einer Erkennungs- bzw. Klassifikationsaufgabe sind auch die Kenntnis und das Verständnis der Prozesse der Signalaufnahme und Signalvorverarbeitung. Ein Signal, als eine physikalisch messbare Größe (z.B. Temperatur, Geschwindigkeit,

Beschleunigung, Kraft, Druck, Ladung), die sich über die Zeit verändert, liegt nach der Messaufnahme als analoges elektrisches Signal vor.

Je nach Anwendungsfall sind daraufhin Verarbeitungsschritte (Verstärkung, Filterung usw.) notwendig, um nach einer analog-digital Wandlung ein digitales Signal in einem Computer zu speichern und eine informationserhaltende bzw. informationsextrahierende Weiterverarbeitung im Computer zu ermöglichen. Dies umfasst eine Reihe von Entscheidungen zu Verarbeitungsschritten und Parametern, die letztendlich über die Qualität des Klassifizierungsergebnisses bzw. über die Lösbarkeit des Erkennungsproblems überhaupt entscheiden. Die hierfür notwendigen Erfahrungen und Kenntnisse können erst anhand praktischer Beispiele erworben werden.

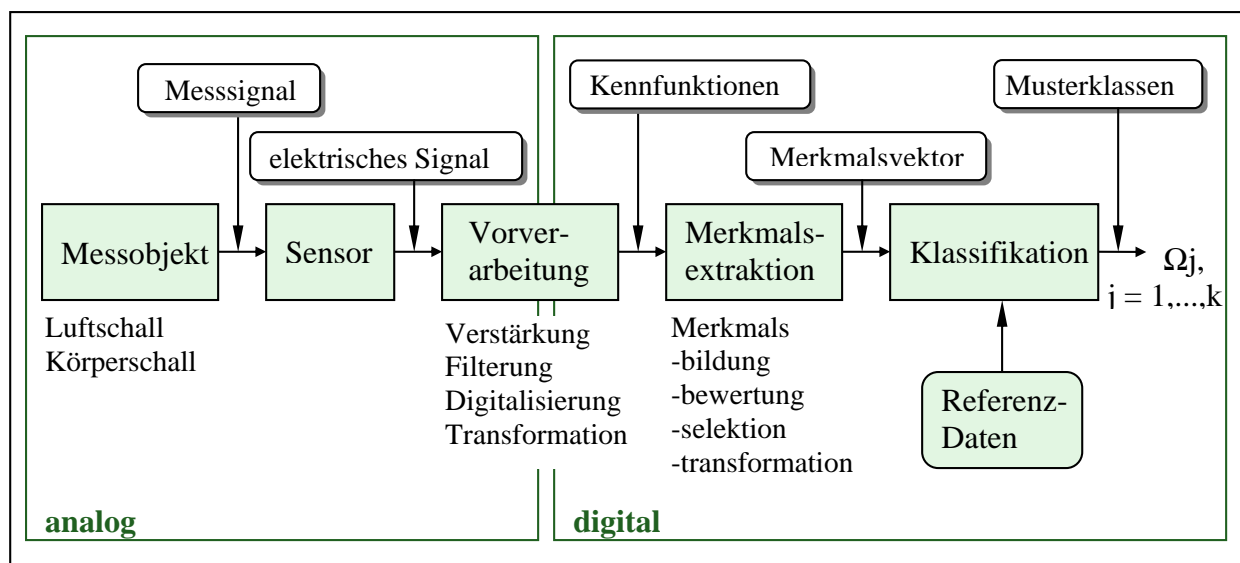


Abbildung 3.2 Aufbau eines Signalverarbeitungssystems

Lehrinhalte der Signal- und Mustererkennung an der TU Ilmenau

In der Abbildung 3.3 sind die Inhalte des Lehrgebietes der Signal- und Mustererkennung, wie sie an der TU Ilmenau im Rahmen der Vorlesungen und Übungen vermittelt werden, dargestellt. Die Lehrveranstaltungen der Signalerkennung befassen sich, ausgehend von der Behandlung determinierter zeit- und wertkontinuierlicher Signale und deren Beschreibungsmöglichkeiten, mit der Behandlung zeitdiskreter Signale und Systeme. Anschließend werden stochastische Signale und Methoden der Signalerkennung und –wiederherstellung betrachtet. Der Schwerpunkt der Lehrveranstaltungen zur Mustererkennung liegt in der Beschreibung und der Anwendung klassischer und moderner Klassifikationsalgorithmen. Ausgehend von der Strategie der Mustererkennung und der Beschreibung von Merkmalsräumen werden anhand konkreter Beispieldaten diverse Klassifikatoren vorgestellt.

Für die Behandlung und das Verständnis der Inhalte sind komplexe mathematische Beschreibungen notwendig. Es steht die Anwendung signalverarbeitender Algorithmen und Methoden auf digitalisierte Daten im Computer im Vordergrund.

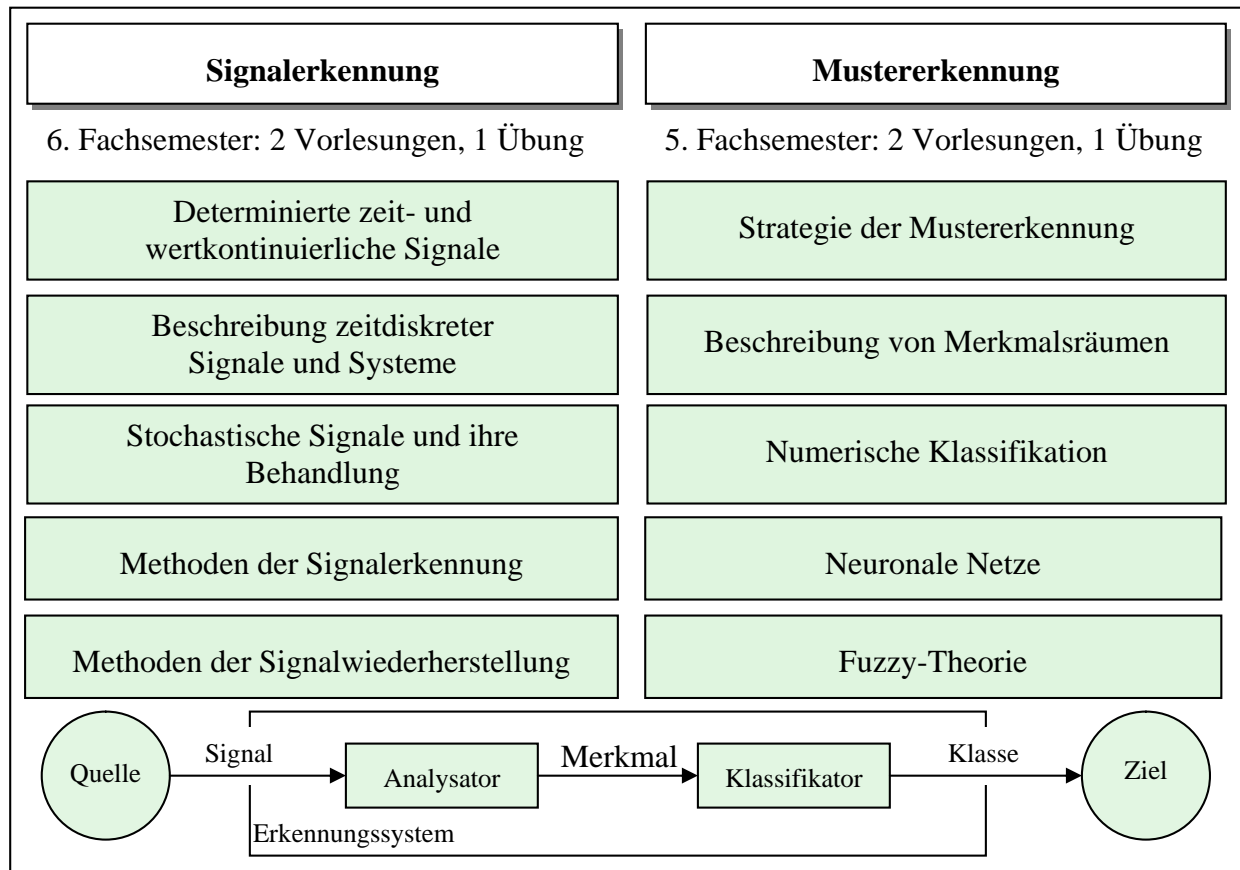


Abbildung 3.3 Lehrinhalte der Signal- und Mustererkennung

Bei einer zusammenfassenden Betrachtung des zu vermittelnden Lehrstoffes der Signal- und Mustererkennung lassen sich die folgenden Charakteristika hervorheben:

- Verwendung komplizierter Modelle mit nicht leicht überschaubaren mathematischen Zusammenhängen: Dies erfordert vom Lernenden solide Kenntnisse der Mathematik; speziell der Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung.
- Hohes Abstraktionsniveau: Dies erfordert von einem realen, in der Regel sehr komplexen System (z.B. Motor-Getriebe-Einheit) ein adäquates Modell abzuleiten. Bei diesem Abstraktionsprozess wird vor allem das Fachwissen des Ingenieurs gefordert (z.B. Kenntnis von Konstruktion und Schwingungsverhalten zur Signalaufnahme bei der Bestimmung von Geräusch- bzw. Schwingungsursachen).
- Umgang mit umfangreichen Datenmengen: Zur statistischen Absicherung der Ergebnisse sind hinreichend große Stichproben zur Beschreibung der Klasseneigenschaften notwendig.

- Spezifik der methodischen Herangehensweise als Ergebnis jahrelanger praktischer Erfahrungen bei der Signalverarbeitung (-erkennung) und Mustererkennung

Unter Berücksichtigung der genannten Gesichtspunkte lassen sich aus den fachlichen Rahmenbedingungen für ein Lehr-/Lernsystem für die Signal- und Mustererkennung die folgenden didaktischen Anforderungen ableiten:

- Übersichtlichkeit in der Stoffdarbietung,
- Möglichkeit der interaktiven Steuerung des Lehr- und Lernprozesses durch den Lernenden,
- Fähigkeit zur symbolischen Lösung auch schwieriger mathematischer Probleme,
- leistungsfähige Simulation und Modellbildung und
- Flexibilität zur Integration von Erfahrungswissen.

Alle Punkte sprechen für den Einsatz einer multimedialen Lernumgebung mit folgender Aufgabenverteilung:

- für die mathematischen Berechnungen und komplexen Simulationen
 - einen leistungsfähigen Computer,
- für die Veranschaulichung z.B. der visuellen und akustischen Sachverhalte
 - die multimedialen Möglichkeiten und
- für den allgemeinen Zugriff, d.h. die orts- und zeitunabhängige Wissensvermittlung
 - das Internet.

3.3.2 Fachlich bedingte Anforderungen an die Datenrepräsentation

Wie bereits im Kapitel 3.3.1 kurz geschildert, umfasst die Signal- und Mustererkennung einen sehr komplexen Prozess der Signalverarbeitung. Signale, die als zeitlich veränderliche, physikalische Größe – als eindimensionaler Datenstrom – aufgenommen werden, durchlaufen während des Erkennungsprozesses mehrere Stufen der Datentransformation bzw. -reduktion. Im Ergebnis der einzelnen Verarbeitungsschritte entstehen sehr unterschiedliche Datenformate, die es jeweils anschaulich und didaktisch begründet darzustellen gilt. Zum Verständnis der stark mathematisch geprägten Fachinhalte und zur Veranschaulichung des jeweiligen Datenschemas sind sehr verschiedene Darstellungsformen notwendig. Eine Übersicht über die in diesem Zusammenhang Wesentlichsten gibt die Abbildung 3.4.

Weitere Darstellungsformen für spezielle Fragestellungen sind Tabellen, Balkendiagramme, Signallaufpläne, Schaltpläne und allgemeine Schemata, die vereinzelt zum Einsatz kommen.

Vor der Fragestellung: Wie können Bilder (Grafiken, Diagramme, Abbildungen) zum Wissenserwerb genutzt werden? ist eine gezielte Aufbereitung der Lehrinhalte für eine computer-

unterstützte Lernumgebung unumgänglich. Weidenmann fordert von Grafiken, Bildern usw., dass sie den Prozess der Informationsextraktion auf Seiten des Betrachters unterstützen [Weidenmann, 1994a]. [Ballstaedt, 1997] diskutiert dazu die vielfältigen Möglichkeiten instrukionaler Darstellungsformen zur Vermittlung komplexer Wissensbestände.

Darstellung	Anwendungsbeispiele
XY-Diagramm 1dim. Daten	Zeitsignal, Fouriertransformierte Übertragungsfunktion (Betrag-/Phasendarstellung) Verteilungsdichten, Histogramme
XY-Diagramm 2dim. Datenmatrix	Clusterflächen 2dimensionale Klassendarstellung
XYZ-Diagramm: 3dim. Datenmatrix	Clusterräume 3dimensionale Klassendarstellung
Wasserfalldiagramm	Zeitsignal Kurzzeit-FFT
Falschfarbendarstellung	Ausbildung eines Merkmalsraumes
Animationen	Lernverlauf bei Neuronalen Netzen Entwicklung der Klassengebiete
Schaltpläne	Frequenzselektive Schaltungen (Hochpass, Tiefpass)

Abbildung 3.4 Grafische Datenrepräsentation

Akustische Information

Der Vorteil beim Einsatz von Computern für die Lehre liegt bei einem Fachgebiet, dessen Basis meist die Verarbeitung von akustischen Signalen (z.B. Maschinengeräusche, Sprachsignale) ist, eindeutig darin, dass neben der rein statisch visuellen Datenrepräsentation die akustische und zeitabhängige Komponente mit berücksichtigt werden kann. Dieser Aspekt ist ein wesentlicher Schwerpunkt bei der Konzeption einer neuen Lernumgebung für die Signal- und Mustererkennung. Bei den meisten Präsentationen stellt die akustische Information meist ergänzenden bzw. erläuternden Charakter textueller oder bildlicher Darstellungen dar. Hier geht es jedoch um die eigene akustische Erfahrung der bearbeiteten Daten, die sich nun einmal nicht anhand eines Bildes oder erläuternden Textes vermitteln lässt.

Historisch gesehen begründete sich gerade die Qualitätssicherung bei vielen Maschinen auf der akustischen Qualitätskontrolle, die auch heute noch häufig auf der Erfahrung von (Hör-) Experten, Menschen mit geschulten Ohren, basiert. Beispiele dafür sind die Qualitätsprüfung in der Dachziegelfertigung durch Bewertung des Anschlaggeräusches und die Fehlererkennung bei Verbrennungs- bzw. Elektromotoren durch Geräuschabweichungen vom Normalfall.

3.3.3 Ausgangssituation und bisherige Erfahrungen

Seit über 30 Jahren ist der computerunterstützte Unterricht in Zusammenhang mit der elektrotechnischen Grundlagenausbildung Forschungsgegenstand im Fachgebiet „Grundlagen der Elektrotechnik“ an der Technischen Universität Ilmenau. Seit gut 20 Jahren wird hier für die Ausbildung im Fach „Signal-“ und Mustererkennung“ der Computer eingesetzt. Die Erfahrungen beim praktischen Einsatz von computerunterstützten Lehrmaterialien und Simulationsprogrammen und speziell auch bei deren Entwicklung bilden so eine fundierte Basis bei der Neukonzeption einer Lernumgebung für die Signal- und Mustererkennung.

Signalanalyse-System

Das bisher eingesetzte Signalanalyse-System wurde zu Beginn der 80iger Jahre im Fachgebiet GET im Rahmen der Forschungstätigkeit zur Signal- und Mustererkennung konzipiert, entwickelt und ständig erweitert [Schade et al., 1992]. Das Signalanalyse-System war ein Programmsystem zur Verarbeitung digitalisierter Daten unter dem Betriebssystem MS-DOS. Unter einer textdateigesteuerten Programmoberfläche konnten beliebig viele Einzelprogramme dynamisch zusammengestellt, verwaltet und genutzt werden. Jeder Algorithmus wurde als selbstständig ausführbares Programm (*.exe) meist in Turbo Pascal realisiert. So konnten die im Rahmen von Forschungs- Studien-, Beleg- und Diplomarbeiten entstandenen Programme, problemlos integriert werden. Letztendlich standen mehr als 100 Standardverfahren (z.B. Filter- und Korrelationsverfahren, Transformationen, statistische Datenanalyse, Klassifikationsalgorithmen) der digitalen Signalverarbeitung, die sowohl unter der Verwaltungsoberfläche als auch separat einsetzbar waren, zur Verfügung. Neben der Schnittstelle zum analogen Prozess durch einen AD-Wandler waren verschiedene grafische Darstellungsmöglichkeiten und eine Stapelverarbeitung verfügbar. Das System stellte ein sehr kompaktes und mächtiges Arbeitsmittel sowohl für den Einsatz in der Forschung als auch in der Lehre dar. Es erforderte jedoch ein sehr umfangreiches Spezialwissen über die interne Struktur und den Programmaufbau, so dass der Betreuungs- und Wartungsaufwand relativ hoch war. Durch das Ausscheiden der Wissensträger und durch die Veralterung sowohl der Computertechnik (Hardware), der Softwaretechnologie (Programmierungsmethode) als auch der Software

(Programme) wurde eine Neukonzeption notwendig. Dabei konnten Erfahrungen und Ideen aus der Arbeit mit dem alten System bei der Neuentwicklung aufgegriffen und verwendet werden.

Mathematica

Parallel zu der Arbeit mit dem Signalanalyse-System, welches vordergründig für Forschungsarbeiten und Praktika herangezogen wurde, wurde seit 1992 speziell für das Arbeiten in Seminaren und Übungen und für die Präsentation des Lehrstoffes in der Vorlesung das Computer-Algebra-System Mathematica eingesetzt [Finsterbusch&Burger, 1999], [Finsterbusch&Burger, 2004]. Durch die schrittweise Umsetzung der vielfältigen fachlichen Inhalte entstand eine umfangreiche Sammlung von Lehr- und Informationsmaterial. Dank der verschiedenen hervorragenden Präsentationsmöglichkeiten von Mathematica konnten zur Verbesserung der Darstellung der Lehrinhalte z.B. für die Übungen interaktiv nutzbare, elektronische Dokumente und für die Vorlesungen Diagramme, Grafiken und Animationen aufbereitet werden.

Forschungsergebnisse

Um eine möglichst praxisnahe Ausbildung zu gewährleisten, wurden verschiedene Beispiele für die Vorlesungen und Aufgaben aus den Praktika auf der Basis der Ergebnisse der Forschungstätigkeit aufbereitet. Neben der Vermittlung der sehr stark mathematisch geprägten Lehrinhalte stand stets ihre praktische Anwendung im Vordergrund. Dazu wurden neben den demonstrierten Beispielen in der Vorlesung und in den Übungen die vielfältigen Möglichkeiten in Projekt-, Beleg- und Studienarbeiten genutzt. So bot sich den Studierenden unter Hinzuziehen diverser CAS die Möglichkeit, das erworbene Wissen im Praktikum oder in eigenen Forschungsarbeiten zu erproben und anzuwenden. Den inhaltlichen Schwerpunkt lieferten dabei Erkennungsaufgaben aus der technischen Geräuschdiagnose. Elektro-mechanische Systeme, wie Staubsaugermotoren, Jalousiemotoren, Mixstab-Systeme, Vakuum-Pumpen lieferten die realen Untersuchungsdaten. So war es möglich, neben den theoretischen Grundlagen, das komplexe System von der Aufnahme der Signaldaten bis hin zur Bestimmung der Klassenzugehörigkeit zu vermitteln.

3.4 Zusammenfassung

Zusammenfassend ist festzustellen, dass der Einsatz des Computers für Lehr- und Forschungszwecke in den letzten gut 25 Jahren eine Reihe von beachtlichen Entwicklungen ermöglicht hat. Voraussetzung war stets die sich verbessernde Technik und darauf aufbauend folgten unmittelbar neue Einsatzszenarien. Bei der Lern-/Lehrsoftware ist die Anwendungspalette mittlerweile sehr breit und vielfältig. Sie reicht von Einzelanwendungen und Software im Zusammenhang mit einem Lehr- oder Übungsbuch über komplexe Lernumgebungen, die als Webanwendungen mit ihren multimedialen und kommunikativen Möglichkeiten zum Einsatz kommen, bis hin zur Realisierung von virtuellen bzw. ferngesteuerten Laboren. Lernprogramme speziell für die Signal- und Mustererkennung mit der Möglichkeit praktikumsäquivalente Einsatzbedingungen zu simulieren, sind bisher jedoch eine Seltenheit. Eine Recherche auf der Basis verschiedener Internet-Suchdienste, Literaturdatenbanken und internationaler Konferenzen und Zeitschriften zu E-Learning nach Schlüsselbegriffen, wie: „Signalverarbeitung“, „Signalerkennung“, „Mustererkennung“, „signal and pattern recognition“, „virtual and remote lab“ in Zusammenhang mit „E-Learning“, „Multimedia“ usw., brachte keine zufriedenstellenden Resultate. Erst nach der Aufspaltung in Teilgebiete bzw. einzelne Themen, wie „AD-Wandlung“, „Fourier-Reihen“, „Neuronale Netze“ usw. wurden vielfältige Einzel-Realisierungen gefunden. Eine weitere Problematik hat sich bei der Recherche herausgestellt: viele Systeme sind nicht frei zugänglich oder sind auf einem bestimmten Entwicklungsniveau verblieben, sie werden nicht mehr gepflegt oder gestatten nicht die gewünschten Eingriffs- und Erweiterungsmöglichkeiten.

Es gibt eine Reihe von Systemen, wie das Lehrbuch von Karrenberg zur Signalverarbeitung bzw. Anwendungen zu „virtual and remote labs“, wie sie auf dem REV2004²⁸ Symposium präsentiert wurden, die zur didaktischen und technischen Orientierung dienten. Die Komplexität der Fachinhalte der Signal- und Mustererkennung wird jedoch bisher von keiner Anwendung im gewünschten Rahmen abgedeckt. Ideen aus fachverwandten Projekten, z.B. der Mathematik, speziell der Statistik, der Messtechnik, der theoretischen Nachrichtentechnik und der Sprachsignalverarbeitung sowie die langjährigen Erfahrungen aus dem eigenen Fachgebiet liefern jedoch wertvolle Ansätze, die bei der Neuentwicklung mit einbezogen wurden.

Mit der Anforderung, neben einer Informations- und Aufgabensammlung praktikumsähnliche Einsatzmöglichkeiten zu realisieren, stand die Frage nach einer offenen Modellbildungs- und Simulationssoftware. Eine Fülle von Einzelanwendungen (virtuelle Oszilloskope, Mischpulte, Funktionsgeneratoren usw.) in Form von Applets oder Shockwave-Anwendungen sind über das Internet verfügbar, lassen sich jedoch nicht an die spezifischen Einsatzbedingungen (Datenimport, Datenexport, akustische Signalwiedergabe usw.) anpassen und erforderten letztendlich eine Eigenrealisierung.

²⁸ REV - International Symposium of Remote Engineering and Virtual Instrumentation

Hervorzuheben ist, dass gerade im Bereich der Signal- und Mustererkennung von verschiedenen Hochschuleinrichtungen (z.B. Humboldt-Universität Berlin, Fachgebiet Signalverarbeitung und Mustererkennung) stets Praktika angeboten werden. Sie sind jedoch teilweise als Studienarbeit (Schwerpunkt Programmierung einzelner Algorithmen) bzw. mittels einzelner vorbereiteter Signaldaten und z.B. Matlab-Arbeitsblättern zu realisieren. Eine Lösung in Form einer offen gestalteten, webbasierten Lernumgebung, bei der sowohl die Daten, die Informationen zu Lehrinhalten, die Werkzeuge für Simulationen und freies Experimentieren und eine Schnittstelle zur Implementierung weiterer Funktionalitäten und Programme bereitstehen, gibt es nicht.

Um die komplexen Anforderungen sowohl aus mathematischer, datentechnischer als auch darstellerischer Sicht (Siehe Kapitel 3.3.2) zu bewältigen und zeiteffektiv zu realisieren, bot sich die Integration eines professionellen mathematischen Software-Systems an. Auf der Basis der Diskussion zu Einsatzmöglichkeiten und Grenzen von CAS bei der Entwicklung und ingenieurmäßigen Nutzung anhand der im Kapitel 3.2 vorgestellten Systemen und in Auswertung der beschriebenen Auswahlkriterien, fiel die Entscheidung auf das Computer-Algebra-System Mathematica von Wolfram Research. Unterstützt wurde die Auswahl durch den Aspekt, dass die an dieser Lehrveranstaltung teilnehmenden Studenten bereits mit Mathematica vertraut sind.

Da das im Kapitel 3.3.3 beschriebene Signalanalyse-System nicht mehr den technischen und den didaktischen Anforderungen an heutige Lernumgebungen erfüllte, wurde dringend nach neuen Ansätzen und Möglichkeiten speziell für die Durchführung des Praktikums gesucht. Gleichzeitig sollten die langjährigen Erfahrungen (z.B. mit Mathematica) und die vorhandenen Ressourcen²⁹ optimal ausgenutzt und eine einheitliche Handhabung, Organisation und Durchführung der Lehre für die Signal- und Mustererkennung ermöglicht werden.

²⁹ Es existiert bereits eine große Vielzahl an Mathematica-Programmen für die Lehre, die in sowohl in den Vorlesungen als auch in den Übungen eingesetzt werden.

4 Konzeption und Entwurf einer Lernumgebung für die Signal- und Mustererkennung

Aufbauend auf den Untersuchungen aus Kapitel 3 zum internationalen Entwicklungsstand von E-Learning-Anwendungen und von Hard- und Softwaretechniken und ausgehend von den Anforderungen an eine Lehr-/Lernumgebung für die Signal- und Mustererkennung an der Technischen Universität Ilmenau sollen in diesem Kapitel ein Systemkonzept und konkrete Realisierungen der Lernumgebung für die Signal- und Mustererkennung beschrieben werden. Im Vordergrund steht die Diskussion der Einsatzbedingungen, der technischen Rahmenbedingungen, der softwaretechnischen Realisierungs- und der Gestaltungsprinzipien. Die in den folgenden Kapiteln näher betrachteten Komponenten der Lernumgebung „Virtuelles Praktikum Signal- und Mustererkennung“ (vPSM) wurden von der Autorin konzipiert und implementiert. Eine detaillierte Beschreibung der softwaretechnischen Module, verwendeten Technologien und der konkreten Realisierung erfolgt im Kapitel 5.

4.1 Anforderungen und Entwicklungsgrundlagen

4.1.1 Didaktisches Konzept

Zur Erarbeitung der Kenntnisse und Fähigkeiten auf dem Gebiet der Signal- und Mustererkennung an der Technischen Universität Ilmenau wird ein ganzheitliches, didaktisches Konzept basierend auf mehreren Ansätzen umgesetzt.

Informationsbereitstellung und Wissensvermittlung

Klassische Präsenzlehrveranstaltungen wie Vorlesungen, Seminare und Übungen werden durch verschiedene E-Learning-Angebote unteretzt. Dazu finden die Vorlesungen und Übungen zur Signal- und Mustererkennung an der TU Ilmenau in Computerkabinetten statt, die die Integration interaktiver elektronischer Dokumente, Übungsblätter und anderer Quellen (Internet-Dokumente, Lernprogramme usw.) ermöglichen. Der Einsatz des Computer-Algebra-Systems Mathematica erlaubt zudem das Erstellen elektronischer, interaktiver Dokumente, wie beispielhaft in der Abbildung 4.1 dargestellt ist. Diese gestatten es, anhand vorbereiteter, programmierter Beispielaufgaben durch Parametervariation signaltheoretische Zusammenhänge im Seminar darzustellen¹. Gleichzeitig bieten sie den Studierenden die Möglichkeit, weitere Parametervariationen unmittelbar auszuprobieren. Neben dem tutoriell begleiteten Einsatz in den

¹ Die programmtechnische Umsetzung steht dabei im Hintergrund der Betrachtungen.

Präsenzveranstaltungen besteht die Möglichkeit der selbstständigen und individuellen Nutzung dieser Materialien. Diese Form der Lehre setzt im Wesentlichen das Prinzip des *blended learning*² um. In der Lernumgebung vPSM werden zusätzlich zur Vorlesung und zur Übung Informationen bereitgestellt, die ergänzendes, fachgebietsübergreifendes Wissen darstellen bzw. auf die Spezifik des praktischen Einsatzes eingehen.

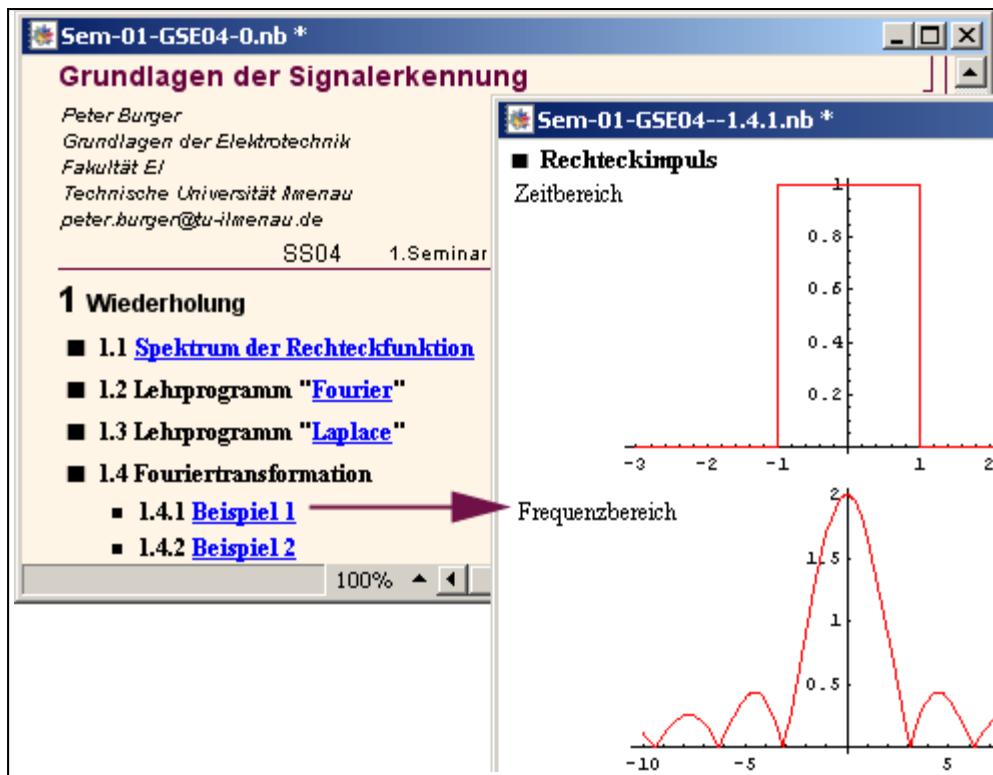


Abbildung 4.1 Beispiel interaktiver Dokumente für die Übungen in Form von Mathematica-Notebooks (Quelle: Dr. P. Burger, Seminar: Grundlagen der Signalerkennung)

Experimente und Praktika

Entsprechend dem Prinzip „learning by doing“ oder auch getreu dem Ausspruch des Konfuzius³ spielt in der Ingenieurausbildung die Integration von Experimenten und Praktika eine herausragende Rolle. Experimente und Praktika liefern den geeigneten Rahmen, erworbenes Wissen anzuwenden, zu erweitern und zu festigen. Bei der Signal- und Mustererkennung handelt es sich um ein Fachgebiet, bei dem es um die Verwendung komplizierter Modelle mit nicht leicht überschaubaren mathematischen Zusammenhängen, um den Umgang mit umfangreichen Daten-

² Blended Learning bedeutet soviel wie "vermisches, integriertes Lernen" und meint eine Form von E-Learning, in welcher Präsenzveranstaltungen (Vorlesungen, Seminare, Workshops) mit PC- und internetbasiertem Lernen kombiniert werden. [Graf, 2004, S. 18]

³ Sage es mir, und ich vergesse es;
zeige es mir, und ich erinnere mich;
laß es mich tun, und ich behalte es.

Konfuzius (chin. Philosoph 551 - 479 v. Chr.)

mengen und um die Vermittlung einer methodischen Herangehensweise als Ergebnis jahrelanger praktischer Erfahrungen geht [Seidel&Bräunig, 2004]. Durch den Einsatz einer offenen Modellbildungs- und Simulationssoftware wird in Form eines virtuellen Online-Praktikums eine Möglichkeit geschaffen, die sowohl Ansätze des tutoriell unterstützten als auch des individuellen, selbstständigen bzw. des entdeckenden Lernen realisiert. Ausgehend von multimedial aufbereiteten Informationsmodulen wird die Möglichkeit gegeben, verschiedene Simulationen orts- und zeitunabhängig durchzuführen und so die Fähigkeit zur symbolischen Lösung schwieriger mathematischer Probleme zu erwerben und gleichzeitig den Praxisbezug der Lehrveranstaltung zu verbessern. Im Vordergrund steht der Einsatz des Online-Praktikums als Evaluierung- bzw. Prüfungstools, aber es bietet dem Lernenden auch die Möglichkeit des zeitlich unbegrenzten Übens bzw. des kreativen Anwendens auf eigene Problem- und Fragestellungen entsprechend konstruktivistischen Ansätzen.

4.1.2 Die Lernumgebung für die Signal- und Mustererkennung

Ausgehend von der didaktischen Begriffsdefinition für Lernumgebungen, wie sie in [Issing&Klimsa, 1997]⁴ bzw. in [Dörr&Strittmatter, 1997]⁵ zu finden ist, soll in dieser Arbeit der Begriff der Lernumgebung etwas weiter gespannt werden.

- Es sei einerseits damit ein Lehr-/Lernsystem charakterisiert, welches Lernmaterialien, Aufgaben und Werkzeuge enthält und so eine Umgebung, einen Raum bietet, in dem sich der Lerner relativ frei bewegen und agieren kann.
- Andererseits wird damit auch ein softwaretechnisches Konzept bzw. eine Strukturanforderung verstanden, die neben den einzelnen Informations- und Aufgabenseiten verschiedene andere Software und Werkzeuge verwaltet und dem Benutzer anbietet und eine Verwaltungs- und Organisationsstruktur integriert, so dass ein komplexes und flexibles System entsteht.

Das Gesamtsystem der Lernumgebung vPSM entspricht einem virtuellen Laborraum. Es ist als ein offener Raum für Lehr-/Lernsoftware gedacht, welcher nach und nach mit Lehrinhalten, Lehrprogrammen, Werkzeugen aus dem Gebiet der Signal- und Mustererkennung und weiteren angrenzenden Gebieten sowie Hilfsmitteln, wie Mathematikwerkzeugen, Bibliotheken, Definitionen, Animationen, Aufgaben- und Formelsammlungen oder auch mit Simulationen von Experimenten und Praktika gefüllt werden kann. Aufgrund der freien Verfügbarkeit der Simulationstools kann der Lernende bei seiner Arbeit je nach seinen Neigungen, Fähigkeiten und

⁴ Lernumgebung: „Lernmaterialien, Lernaufgaben und deren Gestaltung in einer Lernsituation, womit erwünschte Lernprozesse ausgelöst werden sollen“ [Issing&Klimsa, 1997, S.558]

⁵ „Der Begriff der Lernumgebung zielt in erster Linie auf die äußeren Bedingungen ab. Im besonderen geht es um Lernmaterialien und Lernaufgaben sowie um deren Gestaltung, wodurch erwünschte Lernprozesse ausgelöst werden sollen.“ [Dörr&Strittmatter, 1997, S.30]

Interessen neben den vorgegebenen Aufgaben weitere Beispiele, Informationen, Aufgaben und ähnliches aufrufen und verwenden. Dieses erfordert jedoch einen kompetenten, konzentrierten Lerner, der in der Lage ist, sich einerseits diszipliniert einer Problemstellung zuzuwenden und andererseits entsprechend konstruktivistischer Herangehensweise aus erworbenem Wissen neue eigene Frage- und Problemstellungen abzuleiten und zu bearbeiten.

4.1.3 Einsatz-Szenarien

Die multimediale Lernumgebung für die Signal- und Mustererkennung stellt ein offenes webbasiertes Programmsystem dar. Sie ist vor dem Hintergrund folgender Einsatz-Szenarien, wie auch in Abbildung 4.2 veranschaulicht, konzipiert worden:

- INFORMIEREN und LERNEN: Informationssuche und –beschaffung, Selbststudium
- ÜBEN und ANWENDEN: Einsatz als browserbasiertes Online-Praktikum
- ENTDECKEN und ERWEITERN: Projektarbeiten, wissenschaftliche Arbeiten

Zu diesem Zweck wurde eine geeignete Rahmenapplikation von der Autorin entworfen und realisiert, in der bereits einzelne der dargestellten Komponenten und die entwickelten Strukturierungskonzepte exemplarisch erstellt und integriert wurden. Sie umfasst:

- neben den verschiedenen multimedialen DOKUMENTEN,
- diverse interaktive WERKZEUGE z.B. zur Simulation und
- verwaltet die komplette INFRASTRUKTUR, Datenhaltung und -organisation.

INFORMIEREN

Wird der Begriff *virtueller Laborraum* für die Lernumgebung weiterverfolgt, so ist für diesen Anwendungsfall die Bezeichnung *Informationspool* bzw. *virtueller Vorbereitungsraum* zutreffend. Es werden, ähnlich einer Bibliothek bzw. eines Arbeitsraumes mit Büchern und Lehrmaterialien hier auf virtueller Ebene aktuelle Lehr- und Fachinhalte in Form von hypertext- und hypermediabasierten Texten, statischen und interaktiven Aufgaben, Animationen und Informationssammlungen bereitgestellt. Dem Informationssuchenden werden ausgewählte, den Vorlesungs- und Übungsstoff ergänzende Informationen aus angrenzenden Fachwissenschaften dargeboten, die u.U. zum unmittelbaren Verständnis und Bearbeiten der Aufgaben für das Online-Praktikum notwendig sind. Er hat die Möglichkeit, sich in die bereitgestellten Simulationstools einzuarbeiten und anhand ausgewählter Literatur- und Linkverweise weiterführende Studien durchzuführen. Weiterhin erhält er Informationen über die konkret verwendete Signalaufnahmetechnik und die einzelnen Untersuchungsobjekte (z.B. Abbildungen, technische

Beschreibung und akustische Signalbeispiele), mit deren Signaldaten zum Teil in den Online-Praktika gearbeitet werden soll.

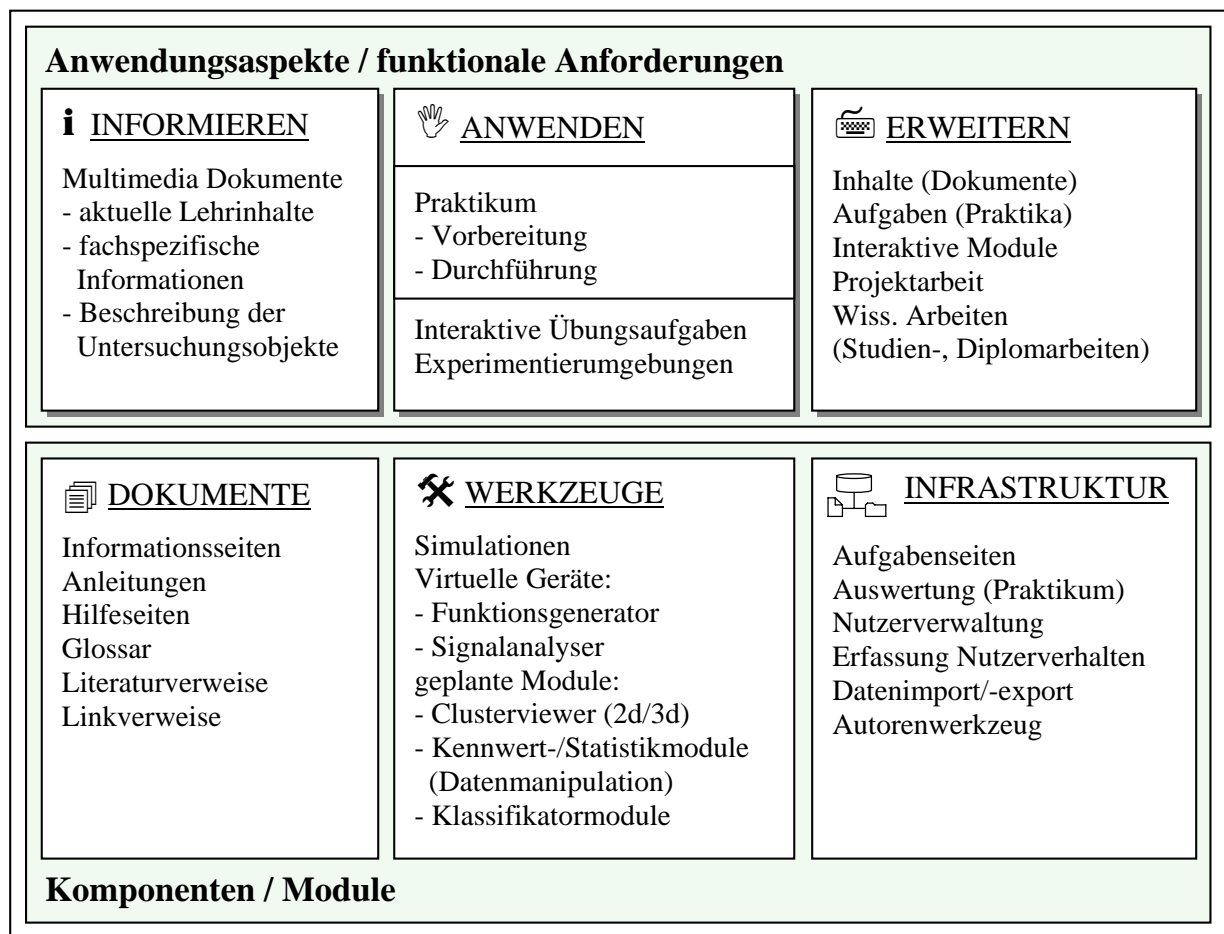


Abbildung 4.2 Übersicht über Einsatz-Szenarien und Komponenten der Lernumgebung

ANWENDEN

Kernstücke der Lernumgebung sind der virtuelle Vorbereitungs- und Praktikumsraum. Praktika gelten als fester Bestandteil der universitären Ausbildung technischer Fachrichtungen. Das Praktikum findet während der Ausbildung auf dem Gebiet der Signal- und Mustererkennung im Hauptstudium statt. Die Lernenden haben einerseits die Möglichkeit innerhalb der Lernumgebung, erworbenes Wissen anzuwenden und anhand praktischer Beispiele selbstständig zu testen. Andererseits liefert die Lernumgebung den Rahmen für die Durchführung eines Online-Praktikums. Auf diesen Komplex haben nur angemeldete Studenten anhand eines Passwortes Zugriff. Hier sind jeweils mehrere Aufgaben, die zur Lösung einer komplexen Aufgabenstellung führen, unter prüfungsähnlichen Bedingungen zu bearbeiten (vgl. Kapitel 4.5.1). Vor der Zulassung zum eigentlichen Praktikum steht das Erwerben des Eingangstests. Dafür sind vom Studierenden die Vorbereitungsaufgaben korrekt zu lösen. Die Vorbereitungsaufgaben und alle

dafür notwendigen Daten und Werkzeuge werden innerhalb der Lernumgebung online bereitgestellt. Die erzielten Ergebnisse werden auf dem Server in einer Datenbank gespeichert und ein Vorbereitungsprotokoll kann erstellt und ausgedruckt werden.

ERWEITERN

Mit dem Systemkonzept wurde eine offene Webapplikation realisiert. Sie bildet die Grundlage und den Rahmen für die weitere individuelle Erweiterung und Ausgestaltung; angefangen bei einfachen Lehrinhalten (Texte, Aufgaben, Animationen usw.), interaktiven Werkzeugen bis hin zu kompletten Praktika. Gleichzeitig gestattet sie die Organisation und Integration von Projektarbeiten auf verschiedenen Ebenen. So spielt neben der Ausbildung, wie sie in Vorlesungen, Seminaren und Praktika stattfindet, das Heranführen der Studierenden an das wissenschaftliche Arbeiten in den höheren Semestern an der Universität eine wesentliche Rolle. Gemeint ist das ingenieurmäßige Bearbeiten einer komplexen Aufgabenstellung, z.B. in Form einer Beleg-, Studien- oder Diplomarbeit. Dazu gehört das selbständige Einarbeiten in eine komplexe Thematik, das Bearbeiten des Themas (z.B. Entwicklung eines Messstandes, Durchführung von Untersuchungen, Erstellung und Implementierung von Softwareprogrammen) und das Anfertigen einer schriftlichen Abschlussdokumentation. Die Offenheit des Systems zeichnet sich dadurch aus, dass sie diverse Schnittstellen liefert (vgl. Kapitel 5), die eine Integration dieser Arbeiten ermöglicht und unterstützt. Dadurch liefert sie die Möglichkeit, in Abhängigkeit von aktuellen Studien- und Forschungsergebnissen auf dem Gebiet der Signal- und Mustererkennung zusätzliche Komponenten (Dokumente und Tools) einzufügen. Dies erfordert gleichzeitig einen stetigen Qualitätssicherungs- und Evaluierungsaufwand seitens der Systembetreuung.

4.1.4 Zusammenfassung

Zusammenfassend ist festzustellen, dass mit der Lernumgebung „Virtuelles Praktikum der Signal- und Mustererkennung“ ein softwaretechnisches Konzept für eine Lernumgebung realisiert wurde, welches eine Plattform zur Integration von Texten, Beispielen, Aufgaben, Experimenten und Werkzeugen unter einer einheitlich gestalteten Benutzeroberfläche bereitstellt. Über eine übersichtliche, flache Menüstruktur kann der Informationssuchende und Lernende frei in der Lernumgebung navigieren. Eine thematische Gliederung entsprechend der drei Schwerpunkte der Praktika (Kapitel 4.2) ist für die Orientierung innerhalb der Fachinhalte von Vorteil. Die Navigation innerhalb der Lernumgebung entspricht den browserüblichen Standards und ist dementsprechend einfach und intuitiv ausführbar. Alle Praktikumsmodule (Informationspool, Vorbereitungsaufgaben, Praktikumsaufgaben) sind in ihrer Struktur einheitlich organisiert.

Durch die offene Gestaltung ist die Lernumgebung:

- für den variablen Einsatz sowohl bei der individuellen Informationsbeschaffung, für das Selbststudium, für die Lehrunterstützung in Vorlesungen und Seminaren, für den Einsatz als virtuelles Praktikum und für die Projekt- und Forschungsarbeit geeignet und
- gestattet, aufgrund der festgelegten Schnittstellen und des modularen Aufbaus, eine gute Erweiterbarkeit und Ergänzung aller Komponenten.

4.2 Strukturierungskonzepte innerhalb der Lernumgebung

Im Rahmen der Lehrveranstaltungen der Signal- und Mustererkennung an der TU Ilmenau werden die wichtigsten Themen und Inhalte zur Technischen Erkennung vermittelt. Dabei liefern die Vorlesungsreihen „Signalerkennung“ und „Mustererkennung“ das mathematische Rüstzeug, während in den Seminaren Übungsaufgaben bzw. ausgewählte Probleme im Vordergrund stehen. Die Studierenden haben in den Seminaren die Möglichkeit, mittels elektronischer Dokumente und mit dem Computer-Algebra-System Mathematica die zu lösenden Probleme qualitativ zu diskutieren. Zusammengeführt und übergreifend angewendet werden diese Erfahrungen in den Praktika mit dem Ziel, bei der eigenständigen Bearbeitung komplexer Fragestellungen die Verfahren kritisch zu bewerten und Alternativen zu erkennen. Die folgenden zwei Kapitel beschreiben die inhaltliche Aufteilung der fachlichen Themen und die Gliederung innerhalb eines Themenkomplexes, die stark gekoppelt ist an den typischen Ablauf eines webbasierten Praktikums der Lernumgebung vPSM.

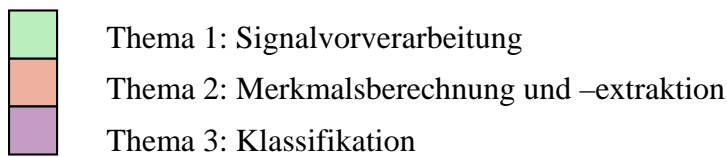
4.2.1 Inhalte und Aufteilung des Stoffgebietes in Themenkomplexe

Die praxisorientierte Ausbildung in der Signal- und Mustererkennung umfasst ein breites Spektrum an Themen und Inhalten, die zuweil weit in andere Fachgebiete hineinragen bzw. Voraussetzungen aus anderen Fachgebieten z.B. der Messtechnik, der Signal- und Systemtheorie und der Mathematik abverlangen. Sie trägt so den wachsenden Schnittstellen zu benachbarten technischen Disziplinen, wie sie von der Industrie gefordert werden [Wucherer, 2002], Rechnung.

Die Ausbildungsinhalte, die sich stark an dem spezifischen Aufgaben- und Forschungsprofil der Bildungseinrichtung orientieren⁶, lassen sich der Signalverarbeitungskette, wie in der Abbildung 4.3 dargestellt, zuordnen. Entsprechend der farblichen Gestaltung in dieser Abbildung wurden

⁶ Forschungsschwerpunkte der Signal- und Mustererkennung der TU Ilmenau sind vorrangig Probleme der Geräuschanalyse und Fehlerdiagnostik an Maschinen und vereinzelt Frage der Sprachsignalanalyse.

die Inhalte lehrveranstaltungsübergreifend in drei Themenbereichen in der Lernumgebung vPSM zusammengefasst:



Dies erfolgte in Anlehnung an die drei Phasen eines Problemlösungsprozesses, wie sie in [Steinhagen&Fuchs, 1976, S.18] beschrieben werden und unter Berücksichtigung des Lehrplans der TU Ilmenau für die „Signal- und Mustererkennung“, in dem drei Praktika vorgesehen sind.

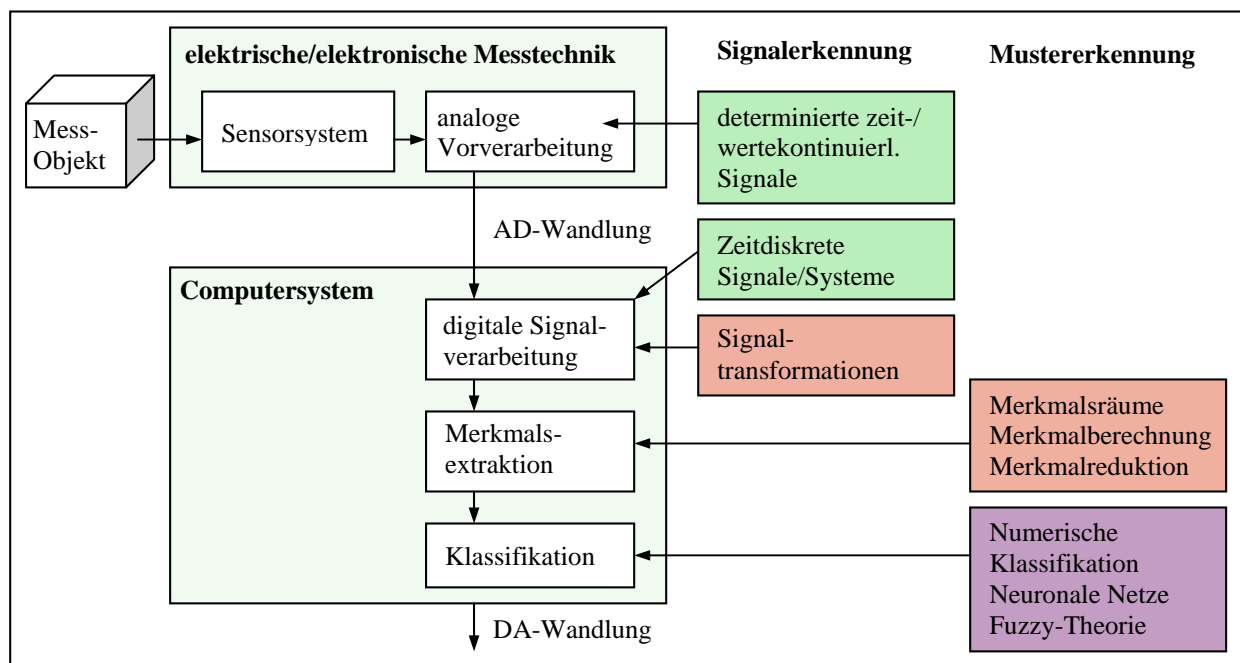


Abbildung 4.3 Zuordnung der Ausbildungsinhalte zum Signalverarbeitungssystem

Signalvorverarbeitung

Schwerpunkt des ersten Themenkomplexes ist die problemangepasste Signalaufnahme und Signalvorverarbeitung. Dazu werden neben der Thematik der Signalaufnahmesysteme⁷, der analogen Signalvorverarbeitung⁸ und der Analog-Digital-Wandlung Fragen zu digitaler Signalverarbeitung, zu Signaltransformationen⁹ und zu statistischen Methoden¹⁰ behandelt.

⁷ Sensortechnik: Körperschall, Luftschall

⁸ Verstärkung; analoge Filterung: Bandbegrenzung, Anti-Aliasing

⁹ orthogonale Signaltransformationen: speziell die Fourier-Transformation

¹⁰ Verteilungsfunktionen, Korrelationen

Merkmalberechnung und Merkmalsextraktion

Bei der Klassifikationsaufgabe geht es darum, eine Anzahl von Objekten anhand messtechnisch gewonnener Datensätze (z.B. aufgenommene Geräuschsignale) und aufgrund von Ähnlichkeiten und sachlichen Verwandtschaften (z.B. Schadensklassen: gut/schlecht) in Klassen einzuteilen. Voraussetzung dafür ist die systematische und quantitative Erfassung numerischer Kriterien, sogenannte Merkmale, die diese Klassenzugehörigkeiten möglichst gut beschreiben.

Das Kennenlernen von Verfahren zur Merkmalsberechnung und zur Bestimmung von trennungswirksamen Merkmalen ist das Kernanliegen des zweiten Themenkomplexes.

Klassifikation

Der dritte Themenkomplex umfasst Probleme und Methoden der Klassifikationsverfahren. Neben den klassischen, numerischen und statistisch basierten Algorithmen werden Neuronale Netze und die Fuzzy-Theorie behandelt.

Ausgangspunkt für jedes Thema ist eine komplexe Aufgabenstellung, wie im Kapitel 4.5 beschrieben wird. Diese lässt sich analytisch in eine beliebige Anzahl von Teilproblemen zerlegen. Zu ausgewählten Teilproblemen werden in der Lernumgebung Lehrinhalte, Aufgaben, Experimente usw. angeboten. Dabei kommt es zwangsläufig auch zu Überschneidungen der Themenkomplexe bzw. es ist zum Verständnis der Problemstellungen vielfach das Vorwissen aus anderen Lehrveranstaltungen zu aktivieren. Jeder Themenkomplex vereint drei Abschnitte - virtuelle Räume, die im folgenden Kapitel beschrieben werden.

4.2.2 Gliederung innerhalb der Themenkomplexe

Die Gliederung innerhalb der Themenkomplexe, wie sie in der Lernumgebung vPSM umgesetzt wurde, soll am Beispiel des Themas „Signalvorverarbeitung“ beschrieben werden. Innerhalb der Themenkomplexe erfolgt eine Aufteilung in drei Unterabschnitte, die man sich als virtuelle Räume, wie in Abbildung 4.4, vorstellen kann.

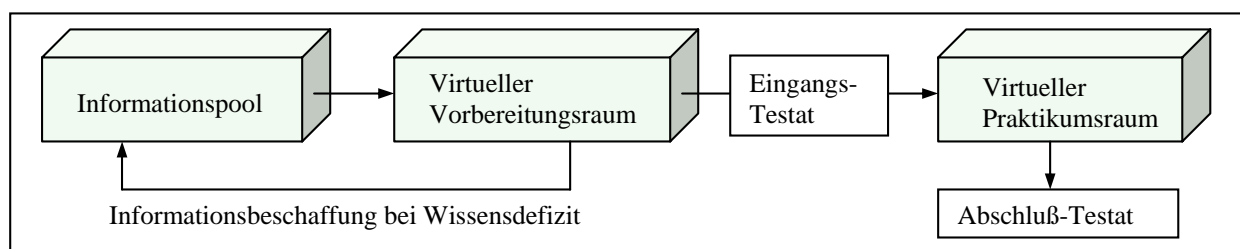


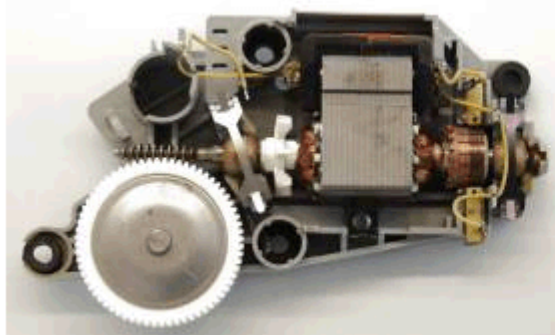
Abbildung 4.4 Virtuelle Räume der Lernumgebung vPSM

Informationspool

Der Informationspool dient neben der themenbezogenen Informationsbeschaffung dem Erwerb der signaltheoretischen Grundlagen und dem Anwenden auf einfache, überschaubare synthetische Signale mit der Möglichkeit der freien Parametervariation. Interaktives Lernen ist durch den Einsatz virtueller Signalverarbeitungsgeräte, wie den Funktionsgenerator und den Signalanalyser, möglich. Es besteht die direkte audio-visuelle Kontrolle der berechneten Signale. Weiterhin werden den Lehrstoff ergänzende Informationen mit angepassten Literaturhinweisen, ausgewählten Linkverweisen, Animationen, Hörbeispiele, Formelsammlungen usw. bereitgestellt. Eine beispielhafte Auswahl wurde in Tabelle 4.1 zusammengestellt.

Tabelle 4.1 Exemplarische Inhalte aus dem Informationspool

Beschreibungen der **untersuchten Objekte**, deren Daten bei den Aufgaben herangezogen werden, mit Abbildungen, Aufnahmebedingungen, Hörbeispielen und Klasseneinteilung.



Alles-Schneider-Getriebe
(Schneckengetriebe)

Signalaufnahme als Körperschall
mit Beschleunigungsaufnehmern

Unterscheidung in:

- Klasse "Gut" und [Hörbeispiel](#)
- Schadklasse "Schlecht" [Hörbeispiel](#)
(mit Schraubenrad-/Magnetgeräusch)

Formelsammlungen, auf die bei den theoretischen Ableitungen hingewiesen bzw. verlinkt wird und die zum Nachschlagen bei eigenen Berechnungen bereitstehen.

Eulersche Formeln

$$e^{jx} = \cos x + j \sin x$$

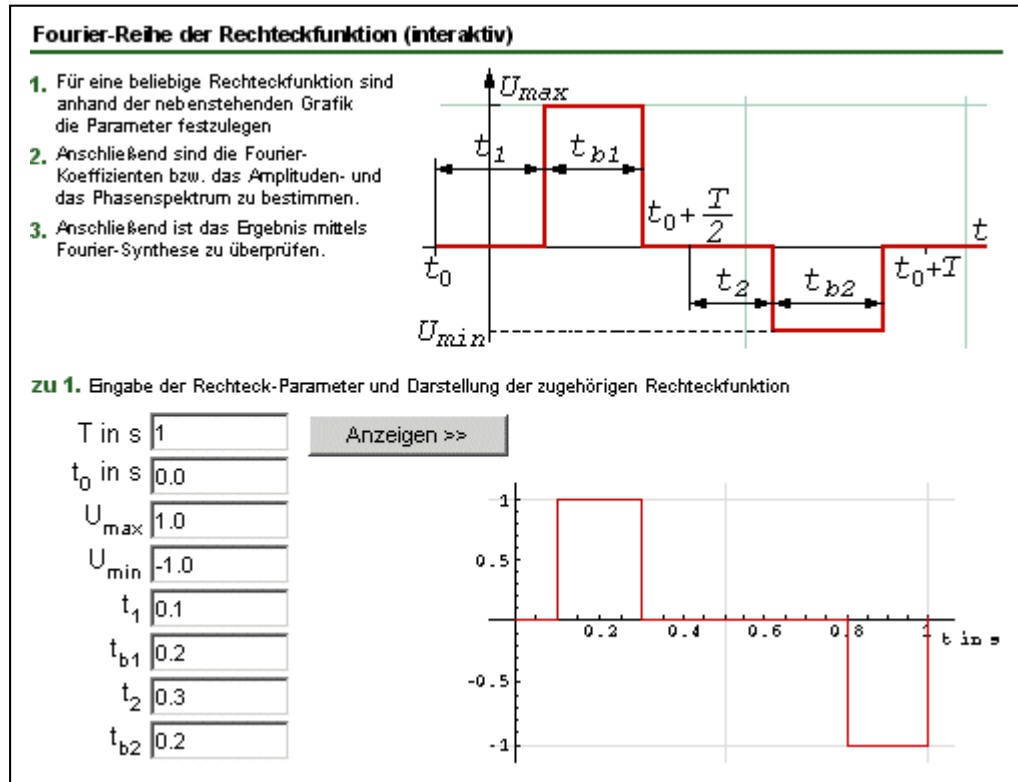
$$e^{-jx} = \cos x - j \sin x$$

$$\cos x = \frac{1}{2} (e^{jx} + e^{-jx})$$

$$\sin x = \frac{1}{2j} (e^{jx} - e^{-jx})$$

Fortsetzung Tabelle 4.1 Exemplarische Inhalte aus dem Informationspool

Beispielaufgaben: komplett durchgerechnet, in Zusammenhang mit Animationen (Java-Applets) oder wie in dieser Abbildung als interaktive Experimentierumgebung:



Informationen zu **Aufnahme- und Weiterverarbeitungstechnik** mit spezifischen Daten und Anwendungsfeldern.



Miniatur Beschleunigungsaufnehmer in Delta-Scher-Ausführung mit geringem Gewicht (2,4 g) und hoher Resonanzfrequenz (55 kHz)

Virtueller Vorbereitungsraum

Im virtuellen Vorbereitungsraum ist durch das Bearbeiten einfach strukturierter Aufgaben der Nachweis über das Beherrschen elementarer signaltheoretischer Zusammenhänge zu erbringen. Die hier erzielten Ergebnisse können als Kriterium zur Zulassung zum Online-Praktikum genutzt

werden. Er fungiert als „Examinator“ und bei Vergabe des Eingangstests erfolgt die Freischaltung des virtuellen Praktikumsraumes mit den Praktikumsaufgaben. Auch hier wird durch eine weitreichende Interaktivität und Flexibilität der Gerätemodule der Lernende zu eigener Kreativität angeregt. Bei Bedarf kann auf Informationen aus dem Informationspool zurückgegriffen werden.

Virtueller Praktikumsraum

Bei der Praktikumsdurchführung im virtuellen Praktikumsraum geht es um die Bewältigung komplexer Aufgabenstellungen. Dabei wird das kreative und selbständige Anwenden der bisher erworbenen signaltheoretischen Grundlagen aus der Vorbereitung auf praxisorientierte Untersuchungen angestrebt. In Auswertung der Ergebnisse erfolgt die Vergabe eines Abschlusstests.

Zusammenfassung

Beim Durchlaufen der drei virtuellen Räume bauen die Inhalte aufeinander auf. Erworbenes Wissen wird so stets unmittelbar wieder angewandt, gefestigt und erweitert. Zum freien Experimentieren stehen interaktive, virtuelle Gerätemodule bereit. Dazu soll mittels der Aufgaben und Problemstellungen aus dem Informationspool und dem virtuellen Vorbereitungsraum angeregt werden.

Die übergreifende Verwaltung und Steuerung (z.B. der Nutzer und Aufgaben) der drei virtuellen Räume und der Praktika wird über eine Datenbank organisiert. Sie gewährt u.a. die Bereitstellung ausgewählter Aufgaben aus einem Aufgabenpool mit den zugehörigen Eingangsdaten und die Erfassung der Ergebnisse.

Die Nutzung des Computer-Algebra-Systems Mathematica zur Umsetzung der mathematischen Modelle erfolgt im Hintergrund und damit unsichtbar für den Nutzer, so dass keine zusätzlichen Programmierkenntnisse notwendig sind. Die verschiedenen Algorithmen der Signalverarbeitung wurden in themenverwandten Funktionsblöcken zusammengefasst und als interaktive Gerätemodule in Dialogfenster-Form mit den typischen browserüblichen Bedienkonventionen bereitgestellt.

Auf die möglichen Benutzeraktivitäten der Lernumgebung, auf das Konzept und die Realisierung der virtuellen Geräte und auf das Arbeiten mit dem virtuellen Vorbereitungs- bzw. Praktikumsraum wird in den folgenden zwei Kapiteln ausführlich eingegangen.

4.3 Komponenten und Nutzeraktionsformen der Lernumgebung

Die Lernumgebung vPSM liefert den programmtechnischen Rahmen zur Durchführung eines webbasierten Praktikums mit virtuellen Geräten und gestattet gleichzeitig die Bereitstellung von Informations- und Übungsmaterial zur Ergänzung und Erweiterung des Lehrstoffes der Lehrveranstaltungen Signal- und Mustererkennung. Welche Komponenten, Navigationsmöglichkeiten und Aktionsformen aus Sicht des Nutzers verfügbar sind, wird in diesem Kapitel beschrieben.

4.3.1 Seitenaufbau und allgemeine Navigation

Das Erscheinungsbild der vPSM-Seite im Browser teilt sich in die in der Abbildung 4.5 dargestellten Funktionsbereiche. Diese Funktionsbereiche wurden als Frames¹¹ realisiert. Im oberen Steuerungsbereich sind globale Navigationsfunktionen verfügbar, die z.B. den Einstieg in einen der Themenkomplexe, den Aufruf der Startseite von vPSM, die Inhaltübersicht, die Login-Seite oder zur Kontaktaufnahme die e-Mail-Funktion starten.

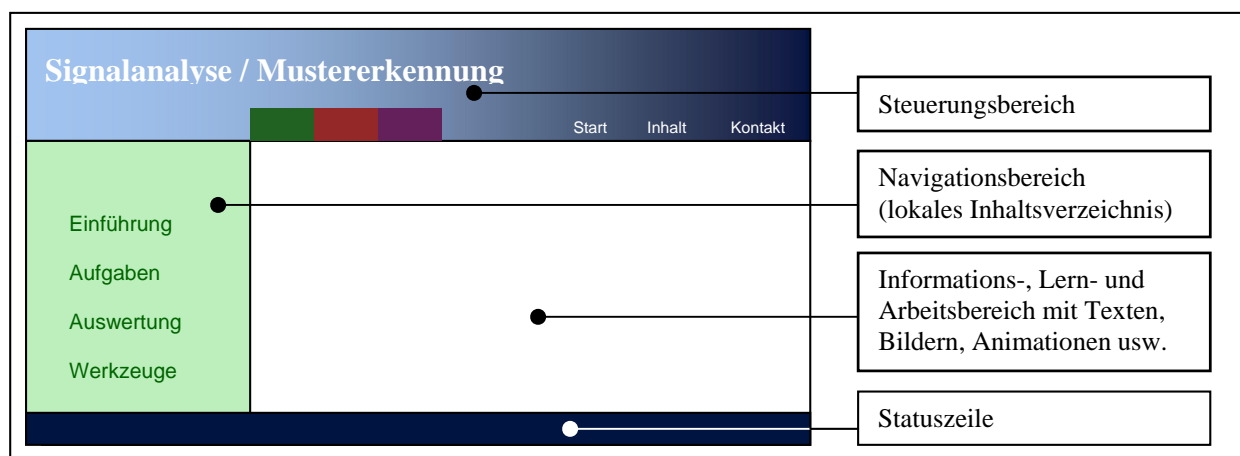


Abbildung 4.5 Bildschirmteilung der Lernumgebung

Die Navigationsleiste am linken Bildschirmrand beinhaltet ein lokales Inhaltsverzeichnis, welches die Navigation innerhalb der Themenkomplexe bzw. der Inhaltsübersicht gestattet. Die Navigationsleiste der Themenkomplexe ist stets gleich strukturiert. Mit ihr kann auf die in Kapitel 4.2.2 beschriebenen virtuellen Räume (Informationspool, virtueller Vorbereitungsraum, virtueller Praktikumsraum) zugegriffen werden. Die Inhalte zu den jeweiligen Links werden im Informations- bzw. Arbeitsbereich dargestellt. Die Statuszeile dient der Anzeige aktueller Informationen z.B. bezüglich des eingeloggtten Nutzers.

¹¹ Frames (Rahmen) bieten die Möglichkeit, eine HTML-Seite in verschiedene Bereiche aufzuteilen, die für sich unabhängig eigene HTML-Dokumente aufnehmen und darstellen können.

Die bisher erwähnten Navigationsmöglichkeiten stützen sich ausschließlich auf die Nutzung von Hypertext- bzw. Hypermediastrukturen. Für das aktive Auseinandersetzen mit den Lehrinhalten und das Bearbeiten der Praktika reichen diese Interaktionsmöglichkeiten aber bei weitem nicht aus. So enthält die multimediale Lernumgebung vPSM neben hypertext- und hypermedia-basierten Lehrtexten und Informationssammlungen auch Aufgaben, Werkzeuge zur Durchführung von Experimenten und zur Lösung von Aufgaben, Animationen und Simulationen. Nachfolgend sollen die wesentlichsten Bestandteile der Lernumgebung mit den entsprechenden Aktionsformen beschrieben werden. Ein wesentliches Anliegen der Autorin bei der Konzeption und Realisierung der unterschiedlichsten Komponenten der Lernumgebung war eine einheitlich organisierte Benutzeroberfläche mit übersichtlicher und zugeschnittener Navigationsvielfalt, die ein schnelles Einarbeiten, eine intuitive Bedienung und eine gute Orientierung innerhalb der Lernumgebung ermöglicht.

4.3.2 Komponenten und Aktionsformen

Da beim computerunterstützten Lernen der Aspekt der Interaktivität eine herausragende Rolle spielt, soll in diesem Abschnitt auf die in der Lernumgebung vPSM realisierten Bestandteile und ihre Interaktionsmöglichkeiten eingegangen werden.

Präsentation der Lehrinhalte und ergänzender Informationen

Unter dem Link „Einführung“ des lokalen Inhaltsverzeichnisses (vgl. Abbildung 4.5) wird zu jedem Themenkomplex eine Auswahl an Informationsseiten und Lehrinhalten zusammengestellt, die zur Ergänzung des Vorlesungs- und Übungsmaterials dient. Zur Unterstützung verschiedener Lernstrategien und Lernstile wurden unterschiedliche Typen von Informationsseiten mit entsprechenden Navigationsmöglichkeiten konzipiert und exemplarisch realisiert. Damit wird ein von Schulmeister geforderter Aspekt zu offenen Lernumgebungen erfüllt, nachdem die Organisation des Lernens durch den Lernenden selbst erfolgt und „das lernende Individuum“ Inhalte gemäß seinen Lernvoraussetzungen selektieren, seinen Lernstil und seine Lernstrategie praktizieren und gemäß seiner Motivation vorgehen kann [Schulmeister, 2004]. Am Beispiel des ersten Themenkomplexes „Signalvorverarbeitung“ sind zu den verschiedenen geplanten Informationsseiten-Typen exemplarisch Inhalte aufbereitet und in der Lernumgebung integriert worden. Dabei kann unterschieden werden zwischen:

- Informationsseiten flacher Hierarchie mit schwacher Verknüpfung: Dabei handelt es sich um Seiten, deren Inhalte jeweils einem Thema gewidmet sind und die anhand weniger Schlüsselworte als Hypertext oder Hypermedia auf andere Themen verweisen. Jede Seite

kann als in sich abgeschlossene Informationseinheit betrachtet werden (vgl. Abbildung 4.6 und Anhang A). (Beispiele: Beschreibung der Lehrziele, der Messobjekte, der Signalaufnahmetechnik)

- Aufeinander aufbauende Seiten mit starker Verknüpfung: Um komplexere Lehreinheiten, z.B. mathematische Ableitungen, gut strukturiert und übersichtlich vermitteln zu können, ist ein Konzept gefragt, welches eine beliebig fein granulierte Aufbereitung der Inhalte mit entsprechenden Navigationsmöglichkeiten unterstützt. Die Seiteninhalte selbst können dabei die verschiedensten multimedialen Objekte, wie Grafiken, Animationen usw., enthalten. Neben der Möglichkeit, frei zwischen den einzelnen Seiten navigieren zu können, kann die angegebene Reihenfolge der Seiten als tutorielle Lernstoffsequenz und somit als Empfehlung der Bearbeitungsabfolge betrachtet werden (vgl. Abbildung 4.6 und Anhang A: Lernmodul Fourier-Reihe¹² - Hier wurden zusätzlich zu den theoretischen Grundlagen, durchgerechnete Beispielaufgaben, Animationen und interaktive Experimentierumgebungen bereitgestellt.)

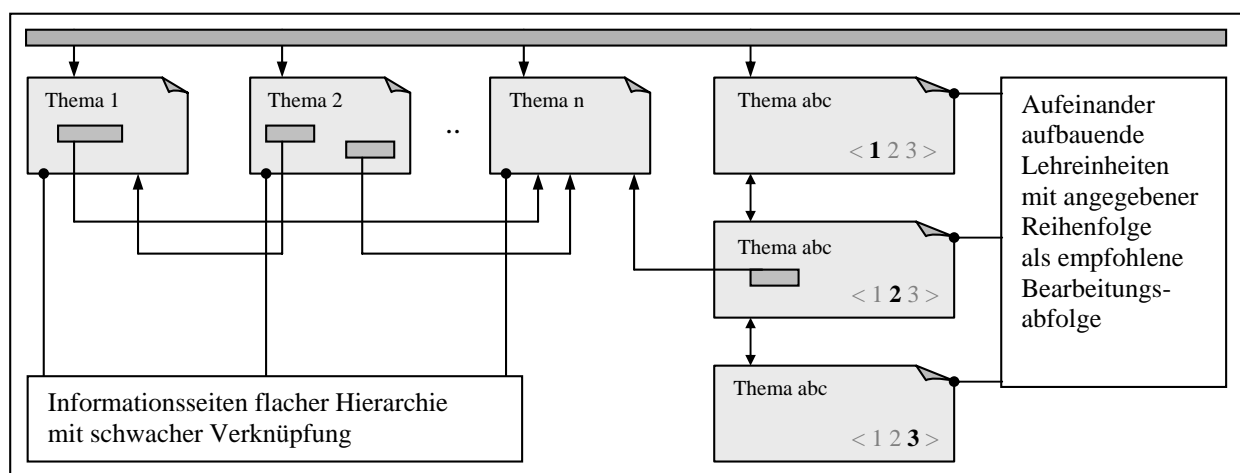


Abbildung 4.6 Schema der Informationsseiten und ihrer Verknüpfungen

Informationssammlungen

Eine weitere Form der Informationsbereitstellung erfolgt in Form von Übersichten bzw. Informationssammlungen:

- Dazu zählen das Glossar, die Formelsammlung, Aufgaben- und Beispielsammlungen. Die Methode der softwaretechnischen Realisierung dieser Komponenten macht es möglich, dass die elementaren Informationseinheiten einerseits innerhalb der Übersichtsseite in einer bestimmten Ordnung bzw. Hierarchie bereitgestellt werden (z.B. alphabetisch) und

¹² Die Ausführungen zur Fourier-Reihe wurden mit freundlicher Genehmigung dem Kompendium des an der TU Ilmenau entwickelten GETsoft-Lernmoduls entnommen. <http://www.getsoft.net> (letzter Zugriff: 30.09.2005)

andererseits aus den verschiedenen Informationsseiten über Links aufgerufen und in einem separaten Popup-Fenster angezeigt werden können. (vgl. Anhang A: Formelsammlung)

- Während der Recherche zu dieser Arbeit und bei der Entwicklung der Lernumgebung und deren Inhalten wurden von der Autorin viele interessante und empfehlenswerte Literaturstellen und Internet-Seiten gefunden. Eine Auswahl dieser wird in einem Literaturverzeichnis bzw. in einer Linksammlung dem interessierten Nutzer für eigene weiterführende Studien zur Verfügung gestellt.
- Zur Unterstützung des gezielten Zugriffs auf ein bestimmtes Thema bzw. bei der Suche nach einer gewünschten Seite innerhalb der Lernumgebung werden in einem Inhaltsverzeichnis in Form einer Linksammlung alle Themen der Lernumgebung systematisch (alphabetisch) geordnet aufgelistet und können so direkt aufgerufen werden.

Animationen und einfache Simulationen

Mit Animationen werden zur Unterstützung des Verständnisses von wichtigen theoretischen Zusammenhängen, z.B. Ableitungen und Erläuterungen, ausgewählte Sachverhalte veranschaulicht. Als Applet wurde z.B. die Animation zur Signalsynthese einer Rechteckfunktion¹³ integriert (Anhang A). Mit ihr kann der Zusammenhang zwischen der Qualität bei der Signalrekonstruktion und der Anzahl der Harmonischen erforscht und auf das Auftreten des Gibbschen Phänomens an der Sprungstelle der Funktion aufmerksam gemacht werden. Weiterhin ermöglicht diese Animation die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen der Verschiebung der Rechteckfunktion auf der Zeitachse und der Änderung des Amplituden- und Phasenspektrums. Es kann abgeleitet werden, dass sich durch die Verschiebung auf der Zeitachse die Symmetrieeigenschaften der Funktion ändern, die wiederum Einfluss auf das Phasenspektrum haben.

Eine besondere Form der Interaktivität wurde in Zusammenhang mit der exemplarischen Realisierung eines interaktiven Beispiels aus der Lehrinheit Fourier-Reihe gewählt. Anhand eines relativ frei parametrisierbaren Rechteckimpulses soll die Bestimmung der komplexen Fourier-Koeffizienten erfolgen (vgl. Tabelle 4.1, S. 54). Anschließend wird das Signal mittels Signalsynthese rekonstruiert und auf diese Weise das Ergebnis veranschaulicht und überprüft.

Nach der Eingabe und der Bestätigung der Parameter zur Spezifizierung der Rechteckfunktion wird zur optischen Kontrolle eine Grafik der entsprechenden Rechteckfunktion erzeugt und angezeigt. Im nächsten Schritt wird, nach Eingabe der gewünschten Anzahl der Harmonischen, die Berechnung der komplexen Fourier-Koeffizienten durchgeführt und als Ergebnis das Amplituden- und das Phasenspektrum in je einem Balkendiagramm dargestellt. Im letzten Schritt wird die zur Laufzeit erzeugte Animation zur Visualisierung der Signalsynthese berechnet und

¹³ Quelle: GETSoft: Fourier-Reihe, http://getsoft.net/_fouriertest/index.html (letzter Zugriff: 30.09.2005)

angezeigt. Der Lernende kann sich anhand der Animation schrittweise die Entstehung des rekonstruierten Gesamtsignals veranschaulichen. Durch beliebige Wiederholungen und Parametervariationen sollte der Lernende in der Lage sein, die unterschiedlichsten Zusammenhänge, z.B. zwischen Impulsbreite, Amplituden- und Phasenspektrum und Signalrekonstruktion und zwischen Signalverschiebung, Amplituden- und Phasenspektrum und Signalrekonstruktion, abzuleiten.

Hierbei handelt es sich um eine problemangepasste Experimentierumgebung, deren mathematischen Berechnungen mit den jeweiligen Parametern mit Mathematica zur Laufzeit erfolgen. Auch die erzeugte Animation zur Signalsynthese wird jeweils zur Laufzeit neu berechnet und unterscheidet sich somit von der oben dargestellten „festparametrisierten“ Animation, realisiert durch ein Applet.

Virtuelle Geräte als Simulationswerkzeuge

Als virtuelle Geräte seien die komplexen interaktiven Bedienmodule bezeichnet, die die verschiedensten Verarbeitungsalgorithmen und –funktionen bereitstellen. Sie werden über grafisch gestaltete Schaltflächen gestartet. Für jedes virtuelle Gerät wird ein eigenes PopUp-Fenster erzeugt, welches eine Vielzahl von Anzeige- und Bedienelementen und Aktionsformen besitzt. Als komplexe Simulationswerkzeuge gestatten die virtuellen Geräte die verschiedensten Aktionen und Datenmanipulationen. In diesem Zusammenhang wird einerseits auf Datenbankfunktionen und auf mathematische Werkzeuge (z.B. Mathematica) zugegriffen, es werden verschiedene multimediale Objekte zur Datenpräsentation erzeugt und andererseits unterschiedlichste Aktionen gestartet. Ausführlich wird auf das Konzept und die Realisierung der virtuellen Geräte im Kapitel 4.4 eingegangen.

Da es sich bei den virtuellen Geräten um sehr komplexe Bedienungseinheiten handelt, ist die Einarbeitung anhand einfacher, geführter Beispiele sinnvoll. Neben einer allgemeinen Bedienungsanleitung für jedes Gerät gibt es Einführungsbeispiele, die der Nutzer schrittweise nacharbeiten kann. Um die Parameter- und Aktionsvielfalt auf die, für eine Aufgabe relevanten Parameter einzuschränken, sind jeweilige Standardwerte voreingestellt, die belassen werden können, wenn in der Aufgabenstellung nicht ausdrücklich eine Änderung erwünscht bzw. angegeben wurde. Dies ist vom Aufgabenautor bei dem Entwurf neuer Aufgaben zu berücksichtigen.

Hilfesysteme

Zur Unterstützung des Nutzers werden sowohl bedienungsorientierte (Systembenutzungshilfen) als auch inhaltliche Hilfefunktionen bzw. Informationssysteme angeboten. Die Systembenutzungshilfen erklären die Benutzung des Computerprogramms bzw. die Funktionsweise und

Bedienung einzelner Komponenten (z.B. die Bedienungsanleitung zum Funktionsgenerator). Im Gegensatz dazu bezieht sich die inhaltliche Hilfe direkt auf inhaltliche, lehrstoffbezogene Fragen und Probleme. In der Lernumgebung wurden als inhaltliche Hilfen ein Glossar, eine Formelsammlung und ein Inhaltsverzeichnis integriert. Der Zugriff auf die Informationseinheiten dieser Komponenten kann sowohl aus den Lehrtexten über Hypertext-Begriffe als auch direkt z.B. aus dem Glossar erfolgen.

Eine besondere Qualität erhält ein Hilfesystem, wenn es in der Lage ist, situationsbedingt die benötigten Informationen bereitzustellen: „nicht mehr, damit der Lernende nicht überfordert wird, und nicht weniger, um Unklarheiten zu vermeiden.“ [Garmann, 1995]. Diese Art der Hilfe wird als kontextsensitive Hilfe bezeichnet. Die Lernumgebung vPSM wurde vorrangig nicht dafür konzipiert, eine automatische Lernerführung zu ermöglichen und enthält so auch kein kontextsensitives Hilfesystem bzw. automatisches Feedback. Sie wurde vordergründig als Applikation zur Durchführung eines webbasierten Praktikums als Leistungsnachweis entwickelt und wie in [Garman, 1995] hervorgehoben wird, sind: „solche kontextsensitiven Hilfen ... in ihrer Entwicklung sehr aufwendig. Ihr Nutzen und der Entwicklungsaufwand sollten gegeneinander abgewogen werden.“

4.3.3 Auswertemöglichkeiten

Im Gegensatz zum Ansatz einer intelligenten Lernumgebung, wie er bei der adaptiven Lernumgebung „ActiveMath“¹⁴ bzw. bei der wissensbasierten Problemlöse-Umgebung mileET [Yakimchuk, 2005] angewandt wird, bei dem zum Beispiel ein mehrstufiges Feedback dem Lernenden eine direkte Rückmeldung zum Lernerfolg geben und ihn im Bedarfsfall auf eine richtige Antwort hinführen soll, sind hier Methoden gefragt, die das Abfragen und Testen von Wissen bzw. Ergebnissen bearbeiteter Aufgaben ermöglichen. In Kapitel 2.2.3 wurden dazu bereits verschiedene Fragetypen vorgestellt und auf die Antwortanalyse, die für die Überprüfung der Eingaben zuständig ist, hingewiesen. Da es sich bei der Lösung der Aufgaben in vPSM vorrangig um Prozesse handelt, die im Rahmen der Praktikumsaufgaben abzuarbeiten sind und als Ergebnis in erster Linie neue Datensätze entstehen, deren Datennamen frei wählbar sind, gestaltet sich eine automatische Antwortanalyse als nahezu unmöglich. Sie lässt sich lediglich dort einsetzen, wo es um die Kontrolle von Zahlenwerten bzw. Vorzeichen-Zahlenwert-Maßeinheit-Kombinationen als Ergebnisse geht oder die Fragestellung in Form von Multiple-Choice-Fragen formuliert wird. Auch die Auswertung der Aufgabentypen, die eine Freitexteingabe als Ergebnis erfordern, wo von den Studierenden z.B. Beobachtungen oder Schlussfolgerungen einzutragen sind, lassen sich nicht mit vertretbarem Aufwand hinreichend befriedigend automatisieren. Es gibt Ansätze und Realisierungen, wo lediglich nach dem

¹⁴ <http://www.activemath.org> (letzter Zugriff: 30.09.2005)

Auftreten relevanter Stichworte gesucht wird und die Antwort als richtig oder falsch entsprechend dem Vorkommen dieser Stichworte bewertet wird. Nach dieser Methode ist jedoch nach Auffassung der Autorin keine hinreichend genaue Leistungsbeurteilung möglich. Die Möglichkeiten und der Aufwand für den Einsatz eines semantischen ATN¹⁵-Verfahrens, bei dem natürlich sprachliche Eingaben geparkt und anhand relevanter Wortklassen bewertet werden, ist für zukünftige Entwicklungen zu untersuchen. Für die Auswertung der Praktikumsergebnisse gibt es momentan einen Assistentenmode für den Praktikumsbetreuer. Hier werden alle gespeicherten Ergebnisdaten des gewünschten Studenten in einer Protokollübersicht dargestellt und können so kontrolliert und bewertet werden. Das ist bei den geringen Nutzerzahlen, wie sie momentan vorhanden sind, mit vertretbarem Aufwand gut zu realisieren.

Eine weitere Auswerte- bzw. Bewertungsmöglichkeit wurde vorbereitet. Während der Bearbeitung einer Aufgabe durch den Studenten lassen sich seine Aktivitäten und Eingaben mittels einer Protokollierungsfunktion erfassen. Mit dieser Funktionalität wird dem Assistenten ein Werkzeug in die Hand gegeben, mit dem er unterschiedliche Auswertemechanismen anschließen kann. So ließe sich durch das Sammeln von Benutzerdaten eine Benutzerklassifizierung aufbauen. Speziell durch die Protokollierung dynamischer Informationen über Navigationspfade, Handlungen und Aktivitäten der Nutzer wäre der Aufbau einer kontextsensitiven Hilfe denkbar. Gleichzeitig ließen sich diese Daten für die Evaluierung und Verbesserung der Lernumgebung heranziehen.

4.3.4 Drucken aus der Lernumgebung

Schon bei ersten Evaluationsgesprächen mit Nutzern kam die Frage: „Kann ich mir die Seiten mit den Lerninhalten oder die Ergebnisse ausdrucken?“ Gründe dafür sind sicher einmal, dass das Lesen am Bildschirm anstrengender als auf dem Papier ist. Neben der geringeren Bildschirmauflösung (96 dpi gegenüber einem einfachen Laserdrucker mit 300 dpi bzw. Buchdruckqualität mit 1200 dpi) spielt der direkte Blick in eine Lichtquelle (bei Papier reflektiertes Licht) und das Monitorflackern dabei eine wesentliche Rolle. Weiterhin wird die Unabhängigkeit vom Computer und von einer Netzverbindung geschätzt. Ein ausgedrucktes Dokument kann man in nahezu jedem beliebigen Format überallhin zum Lernen mitnehmen bzw. in seinen Unterlagen abheften. Auch beim freien Experimentieren mit den virtuellen Geräten und nach dem Bearbeiten der Aufgaben ist der Nutzer oftmals daran interessiert seine Ergebnisse zu dokumentieren, zu drucken und zu archivieren. Vor diesem Hintergrund wurde in der Lernumgebung von der Autorin die Generierung von Druckversionen implementiert.

¹⁵ ATN – augmentes transition network

Da es sich bei der Lernumgebung um eine Applikation mit mehreren Frames handelt, gestaltet sich das Drucken direkt aus den Informationsseiten mit der Druckfunktion des Browsers oftmals als kompliziert. So werden unter Umständen die falschen Frames gedruckt, die Navigationsframes mitgedruckt bzw. die Seiteninhalte passen nicht in den Druckbereich und werden beim Druck einfach rechts abgeschnitten. Um dieser Problematik auszuweichen, werden angepasste Seitenversionen für das Drucken erzeugt. Bei der Erzeugung der Druckversion werden außerdem spezielle Formatierungen für z.B. Links und andere für die Druckversion überflüssige Navigationshilfen ausgeblendet und die Seiteninhalte werden der Papierbreite angepasst.

In der Lernumgebung wurde für die drei folgenden Anwendungsfälle die Generierung von Druckversionen implementiert:

- Drucken der vorwiegend statischen Seiten aus dem Informationspool, dem Glossar, der Formelsammlung, den Literaturangaben usw.,
- Drucken des aktuellen Bearbeitungsstandes aus den virtuellen Geräten mit der Möglichkeit zusätzlich einen Kommentar bzw. Notizen einzugeben und
- Drucken der Aufgabenseiten mit Aufgabentext und erzielten Ergebnissen als Protokollseiten mit Statusdaten zu Bearbeiter und Datum

Im Anhang B befinden sich zu den vorgenannten Druck-Anwendungen einige exemplarisch gedruckte Seiten und zum Vergleich SnapShots der Originalseiten aus dem Browser.

4.4 Konzept und Realisierung der virtuellen Geräte

Bei der praktischen Durchführung von Experimenten bzw. Praktika stehen den Studierenden in der Regel eine Reihe von Instrumenten zur Verfügung, deren Funktionsweise und Bedienung während des Praktikums erlernt und unmittelbar angewandt werden muss. Oftmals steht so neben der Bewältigung der inhaltlichen Anforderungen die Problematik der praktischen Durchführung, d.h. der Umgang mit den verschiedensten Geräten. Diese stehen den meisten Studierenden in der Regel nicht frei zu Lern- und Übungszwecken bzw. zur Vorbereitung von Praktika zur Verfügung. Vielfältig gibt es mittlerweile Bestrebungen, diese Art der Praktikumsvorbereitung durch Bereitstellung virtueller Geräte zu unterstützen. Auf diese Art und Weise kann die Bedienung eines Gerätes am Bildschirm eingeübt werden. Dies ersetzt niemals die praktische Erfahrung, kann aber den Lernprozess wesentlich unterstützen und erlaubt bei der Praktikumsdurchführung das Augenmerk auf die inhaltlichen Problemstellungen zu konzentrieren (Siehe Vorteile im Kapitel 3).

Wie realitätsgetreu müssen virtuelle Geräte sein?

Bei der Gestaltung und Realisierung der virtuellen Geräte in dieser Arbeit liegt der Schwerpunkt auf der Bereitstellung der dem realen Gerät äquivalenten algorithmischen Funktionsweise, nicht auf der detailgetreuen visuellen Nachbildung. Vor diesem Hintergrund wurde keine optisch äquivalente Nachbildung eines real verfügbaren Gerätes, wie z.B. bei dem in Kapitel 3.1 beschriebenen virtuellen Oszilloskop von P. Debik, angestrebt. Da es sich bei den Studierenden einer universitären Einrichtung um Lerner handelt, die über ein hohes Abstraktionsniveau verfügen, sollte die Übertragbarkeit der am virtuellen Gerät gewonnenen Erkenntnisse bezüglich der Funktionalität auf die Handhabung eines realen Gerätes leicht möglich sein. Dieses Abstraktionsvermögen wird schließlich auch vorausgesetzt, wenn ein Studierender, der mit der Benutzung eines bestimmten Gerätefabrikates z.B. eines Spannungsmessgerätes vertraut ist, ein ihm unbekanntes Fabrikat bedienen soll. Schließlich gibt es auf dem Markt Dutzende von z.B. Funktionsgeneratoren und kein Hersteller wird sich ein einheitliches Design bzw. eine einheitliche Konstruktion vorschreiben lassen. Die grundsätzliche Funktionsweise der Geräte ist im wesentlichen äquivalent.

Es geht bei der Realisierung und dem Einsatz der virtuellen Geräte nicht um das Kennenlernen realer analoger oder digitaler Messtechnik, nicht um die praktische Erfahrung des Versuchsaufbaus und die Erfahrung der technischen Abläufe im Inneren eines solchen Gerätes: Es geht nicht um ein Gerätepraktikum, sondern um das Kennenlernen und Anwenden von Funktionen und Algorithmen. Selbst bei realem Versuchsaufbau hört spätestens nach dem AD-Wandler und dem Vorliegen der digitalisierten Signaldaten in einem Rechner bei der Signal- und Mustererkennung die Kette der realen analogen Geräte auf. Die Weiterverarbeitung der Daten erfolgt digital im Rechner z.B. auf der Basis von Softwareprogrammen¹⁶. Bei der Konzeption der Lernumgebung sind zudem eine Reihe von virtuellen Geräten geplant, die kein reales Pendant haben (z.B. Statistikmodul, Clusterviewer). Ferner ist es eine reine Interface-Frage, die Geräte optisch realen Geräten anzupassen, da die Geräte-Funktionen schon realisiert sind.

4.4.1 Rahmenbedingungen beim Entwurf der virtuellen Geräte

Beim Entwurf der virtuellen Geräte wurden u.a. die folgenden Fragestellungen und Aspekte analysiert und bei der Implementierung berücksichtigt:

¹⁶ In industriellen Anwendungen werden spezielle Lösungen typischer Weise in problemangepasste Hard- und Software gegossen.

Welche funktionellen und gestalterischen Anforderungen werden an die virtuellen Geräte gestellt?

Die virtuellen Geräte stellen Software-Module dar, die symbolisierte Funktionseinheiten bilden. Ziel ist die Realisierung und Integration einer Palette von unterschiedlichen Modulen, die Funktionseinheiten von der Signalvorverarbeitung über die Kennwertberechnung und -extraktion bis hin zur Klassifikation bilden. Diese Funktionsblöcke in Form von virtuellen Geräten stellen die mathematischen Algorithmen mit den jeweils zugehörigen Repräsentationsmöglichkeiten (visuell z.B. in Form von 2D-, 3D-Grafiken und Tabellen bzw. akustisch) bereit. In einem virtuellen Gerät werden funktionsverwandte Algorithmen zusammengefasst, die zur Realisierung der einzelnen Prozessschritte des Signalverarbeitungssystems dienen. In diesem Zusammenhang ist die Planung und Verwaltung unterschiedlichster Datenströme und Formate zu berücksichtigen.

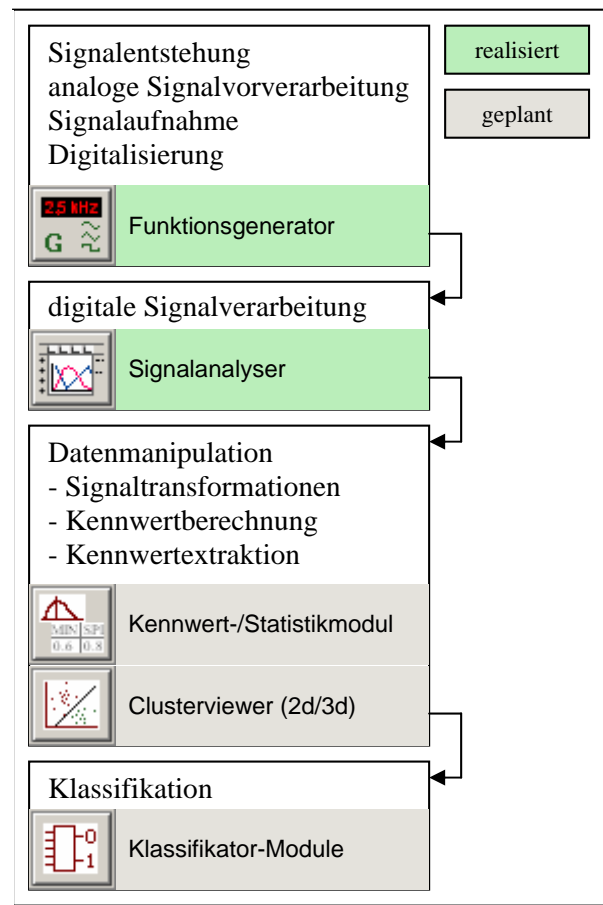


Abbildung 4.7

Algorithmen der Signalverarbeitungskette mit zugehörigen virtuellen Geräten

In der Abbildung 4.7 werden in Zusammenhang mit der Signalverarbeitungskette die realisierten und geplanten Module dargestellt.

Um die oben genannten Funktionen zu realisieren, ist die Verfügbarkeit folgender Elementetypen notwendig:

Anzeigeelemente: die die verschiedenen Anforderungen zur Datenrepräsentation (visuell/akustisch), wie in Kapitel 3.3.2 beschrieben, in entsprechend geeigneten, multimedialen Objekten realisieren lassen.

Eingabeelemente: die die Festlegung der Parameter für die Funktionen und Prozesse gestatten, z.B. die Eingabe von Parameterwerten und die Auswahl und den Zugriff auf Datensätze. Sie sollen eine einfache, möglichst intuitive Bedienung ermöglichen, die in ihrer Funktionalität auf das Notwendige begrenzt ist, um

ein schnelles Einarbeiten zu gewährleisten und Bedienfehler zu minimieren. Weiterhin ist es notwendig, dass sich eine Validierung der Eingabeparameter durchführen lässt.

Steuerelemente: die die Interaktionen, z.B. das Starten der Berechnungen, das Aktualisieren der Anzeigen, das Laden und Speichern von Daten, ermöglichen müssen.

In welchem Kontext sollen die virtuellen Geräte eingesetzt werden?

Ziel beim Entwurf ist, dass die virtuellen Geräte möglichst universell einsetzbar sind. So wie man ein reales Messgerät zu unterschiedlichsten Messaufgaben einsetzen kann, soll dies auch mit den virtuellen Geräten möglich sein. Entsprechend der Konzeption dieser Lernumgebung bedeutet dies, dass die virtuellen Geräte für die in Kapitel 4.1.3 beschriebenen Einsatz-Szenarien bzw. in den in Kapitel 4.2.2 beschriebenen virtuellen Räumen verwendbar sein sollen. Für die Vorbereitung und die Durchführung des Online-Praktikums stehen sie als Werkzeuge zur Lösung der Aufgaben zur Verfügung, können aber auch für freies Experimentieren, d.h. für explorierendes Lernen, eingesetzt werden.

Ziel der Autorin ist es dabei, den Studierenden ein Werkzeug in die Hand zu geben, das es ihnen ermöglicht, auf attraktive und interaktive Art und Weise Aufgaben zum Lehrstoff auszuprobieren, theoretische Erklärungen betrachteter Phänomene bzw. neue Fragen aus erzielten Erkenntnissen abzuleiten. So haben sie die Möglichkeit, den Einfluss verschiedener Parameter auf bestimmte Funktionen und Signale zu simulieren und die Grenzen der im theoretischen Teil bzw. aus den Lehrveranstaltungen dargestellten Aufgaben und Beispiele zu testen.

Die mit den virtuellen Geräten erzeugten Daten sollen unter Berücksichtigung des jeweiligen Nutzers auch nach Beendigung einer Session erhalten bleiben und somit bei erneuter Benutzung der Lernumgebung weiterhin verfügbar sein.

Schlussfolgerungen und Festlegung der Rahmenbedingungen für den Entwurf

Um die Gestaltung aller virtuellen Geräte unter dieser Lernumgebung einheitlich halten zu können und unter Berücksichtigung der oben genannten Aspekte wurde als Frontend ein typisches Dialogfenster gewählt. In dem Fenster werden Standard-HTML-Objekte, wie z.B. Image, Input, Select und Button verwendet. Gestartet wird jeder Dialog als separates Pop-up-Fenster¹⁷ durch eine Schaltfläche, die sich leicht in jeder Hauptseite integrieren lässt.

Weitere sich daraus ergebende Eigenschaften und Vorteile sind:

- Mit der Realisierung der virtuellen Geräte in je einem separaten Dialog-Fenster wird der Charakter der Modularität verstärkt.

¹⁷ Es wird dazu ein eigenständiges Fenster gestartet.

- Die virtuellen Geräte, als eigenständige Softwaremodule, können aus verschiedenen Kontexten heraus mit stets gleichem Aussehen und gleicher Funktionalität verwendet werden.
- Die Geräte lassen sich über Schaltflächen aus jeder beliebigen Seite heraus starten (aus der Werkzeugleiste, von den Aufgaben-Seiten usw.) und sind so universell verfügbar.
- Das Layout der Hauptseite bleibt von den Aktionen innerhalb der virtuellen Geräte unbeeinflusst und kann so, wie z.B. bei den Aufgabenseiten, einheitlich (vermittels Style Sheets) und automatisch (vermittels Template Engine) generiert werden.
- Es ist kein Aufwand für die Erstellung geräteabbildender Oberflächen notwendig.
- Die Standard-HTML-Objekte stellen alle benötigten Anzeige-, Eingabe- und Steuerelemente zur Verfügung.
- Validierungsroutinen, z.B. bei der Parametereingabe, sichern den Nutzer vor missverständlichen oder unsinnigen Handlungen ab, schränken jedoch nicht den Handlungsspielraum des Nutzers ein oder legen ihn gar auf eine Handlungsfolge fest.
- Es lassen sich Schaltflächen einfügen, die neben den eigentlichen Gerätefunktionen zusätzliche Hilfe-, Druck- und Speicherfunktionen bereitstellen.

Die ersten zwei virtuellen Geräte, die von der Autorin konzipiert und realisiert wurden, sind ein Funktionsgenerator und ein Signalanalyser. Zur Beschreibung der Anforderungen, der Funktionsweise und der Handhabung dieser Geräte, die sich teilweise von denen realer Geräte unterscheiden, dienen die folgenden Kapitel. Hier wird auch auf die Möglichkeiten des Einsatzes, die sich z.B. speziell aus der Computerunterstützung ergeben, eingegangen. Um zukünftig die komplette Signalverarbeitungskette nach Abbildung 3.1 in der Lernumgebung vPSM bearbeiten zu können, wurden weitere virtuelle Geräte konzipiert. Im Kapitel 5 wird auf die zur Realisierung der virtuellen Geräte geeigneten Technologien und deren Umsetzung näher eingegangen.

4.4.2 Der Funktionsgenerator



Zur Veranschaulichung der komplexen mathematischen und signaltheoretischen Zusammenhänge ist es unumgänglich, die Vermittlung und Veranschaulichung an einfachen in der Regel analytisch beschreibbaren Signalen zu beginnen. Diese werden algorithmisch erzeugt. Man spricht bei diesen künstlich generierten Signalen im Gegensatz zu den gemessenen Signalen von synthetischen Signalen. Sowohl in der Analog- als auch in der Digitaltechnik erfüllt diese Aufgabe der Signalerzeugung ein Signal- bzw. ein Funktionsgenerator. Im Gegensatz zur Analogtechnik, bei der es um die Erzeugung von elektrischen Signalen (z.B. Spannungen) verschiedener Form (z.B. Sinus, Dreieck oder Rechteck) mit wählbarer Amplitude und Frequenz geht, wird mit einem digitalen Funktionsgenerator ein

Datensatz in einem Rechner erzeugt. Der für diese Lernumgebung realisierte Funktionsgenerator ist in der Abbildung 4.8 dargestellt.

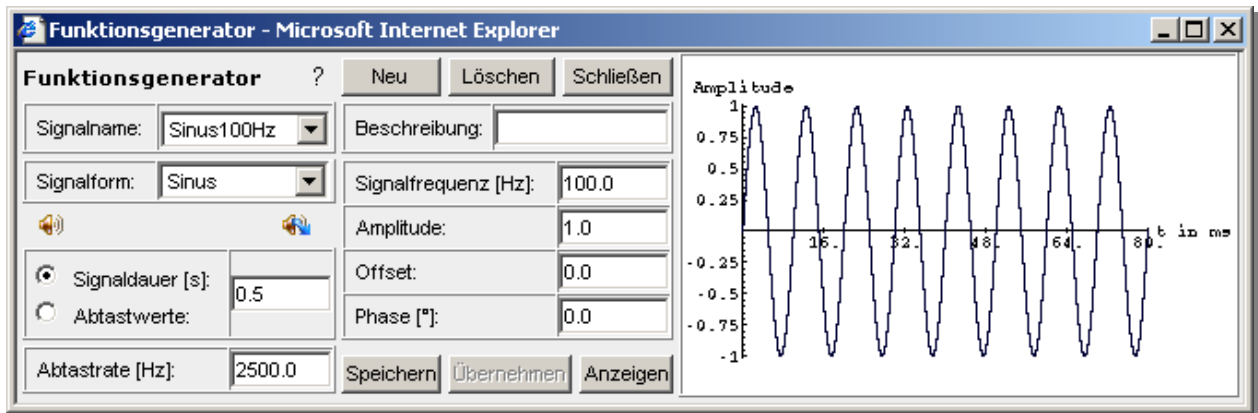



Abbildung 4.8 Der Funktionsgenerator als virtuelles Gerät

Die für die eindeutige Beschreibung eines Signals notwendigen Parameter sind in gewissen sinnvollen Grenzen frei einstellbar und in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt und kurz erläutert.

Tabelle 4.2 Eingabeparameter des Funktionsgenerators

Parameter	Beschreibung
Signalname	Jeder Parametersatz eines Signals wird anhand des Signalnamens eindeutig identifizierbar. Er wird darunter abgespeichert und wiederverwendbar.
Signalform	Im Funktionsgenerator kann aus folgenden Signalkurvenformen gewählt werden: Sinus, Rechteck, Dreieck, Sägezahn, Impuls, Konstante, Rauschen
Signaldauer/ Abtastwerte	Hier kann zwischen der Eingabe der Signal-Zeitdauer (z.B. 0,5 Sekunden) oder der Datenlänge (entspricht der Anzahl der Abtastwerte, z.B. 2048 Stützstellen) gewählt werden.
Abtastrate	Eingabewert für die Abtastfrequenz. Der Reziprokwert davon ist die Abtastperiode; das ist das Zeitintervall in dem die Stützstellen des Signals entnommen werden.
Beschreibung	Eingabefeld für die freie Eingabe zusätzlicher kurzer Notizen.
Signalfrequenz	Eingabefeld für die Signalfrequenz. Die Angabe erfolgt in Hertz.
Amplitude	Eingabefeld für den Amplitudenwert, d.h. der Maximalwert der Signale.
Offset	Eingabefeld für den Offsetwert. Der Offset-Wert verschiebt die imaginäre Mittellinie oder die Untergrenze des Signals (je nach Signalform) bei positiven Werten nach oben und bei negativen Werten nach unten.
Phase	Eingabefeld für den Wert des Nullphasenwinkels. Dies entspricht dem Versatz einer Periode des Ausgangssignals in Grad.

Mit dem Funktionsgenerator lassen sich die für die Übungs- und Praktikumsaufgaben notwendigen diskreten Signale erzeugen. Im rechten Anzeigefeld des Funktionsgenerators wird jeweils ein Signalausschnitt des erzeugten Signals dargestellt. Durch Anklicken des Lautsprechersymbols  ist die akustische Wiedergabe des Signals möglich. Diese Möglichkeit der akustischen Kontrolle in Einheit mit der visuellen Veranschaulichung der Signale stellt einen wesentlichen Qualitätssprung bei der Wissensvermittlung in der Signalverarbeitung und einen wichtigen Aspekt bei der didaktischen Vermittlung signaltheoretischer Zusammenhänge dar. Zur Weiterverwendung der Signaldaten sind diese nutzergebunden in der Datenbank unter einem frei wählbaren Signalnamen abzuspeichern. Sie stehen im Rahmen des virtuellen Praktikums bzw. für das freie Experimentieren in der Lernumgebung z.B. mit dem Signalanalyser zur Verfügung.

Mit der Download-Funktion lassen sich die erzeugten Signale als Wav-Dateien über das Internet auf den lokalen Rechner herunterladen und für eigene Zwecke weiterverwenden.

4.4.3 Der Signalanalyser



Ausgangspunkt für das Verständnis der grundlegenden signaltheoretischen Zusammenhänge ist die Betrachtung der komplexen, mathematisch basierten Algorithmen vorerst an einfachen, analytisch beschreibbaren und anschließend an aufgenommenen, in der Regel komplexen Signalen. Im Signalanalyser (Abbildung 4.9) können dazu sowohl die mit dem Funktionsgenerator erzeugten als auch gemessene Signale dargestellt, weiterverarbeitet bzw. mathematisch miteinander verknüpft werden. Es handelt sich hierbei ausschließlich um Signalverknüpfungen, die im Zeitbereich beschreibbar sind.

Der Signalanalyser ist in zwei Funktionsbereiche unterteilt:

- Die oberen Fensterhälfte dient der **Visualisierung** und der **Auswahl** von Signalen. Alle für den aktuellen Nutzer verfügbaren Zeitsignale werden in der Auswahlliste (links oben) bereitgestellt. Dabei kann es sich um die mit dem Funktionsgenerator erzeugten oder um importierte Signale handeln. Maximal 5 Signale können gleichzeitig selektiert und angezeigt werden. Bei der Darstellung kann zwischen zwei Darstellungsmodi gewählt werden:

Single-Signal-View: die Signale werden untereinander, jedes im eigenen Koordinatensystem, abgebildet (wie in den Abbildungen 4.9 und 4.11),

Multi-Signal-View: alle Signale erscheinen im selben Koordinatensystem (Abbildung 4.10).

Neben der Möglichkeit, in die Frequenzdarstellung umzuschalten, lassen sich mittels der Zoomfunktion beliebige Signalausschnitte im Zeit- bzw. Frequenzbereich betrachten.

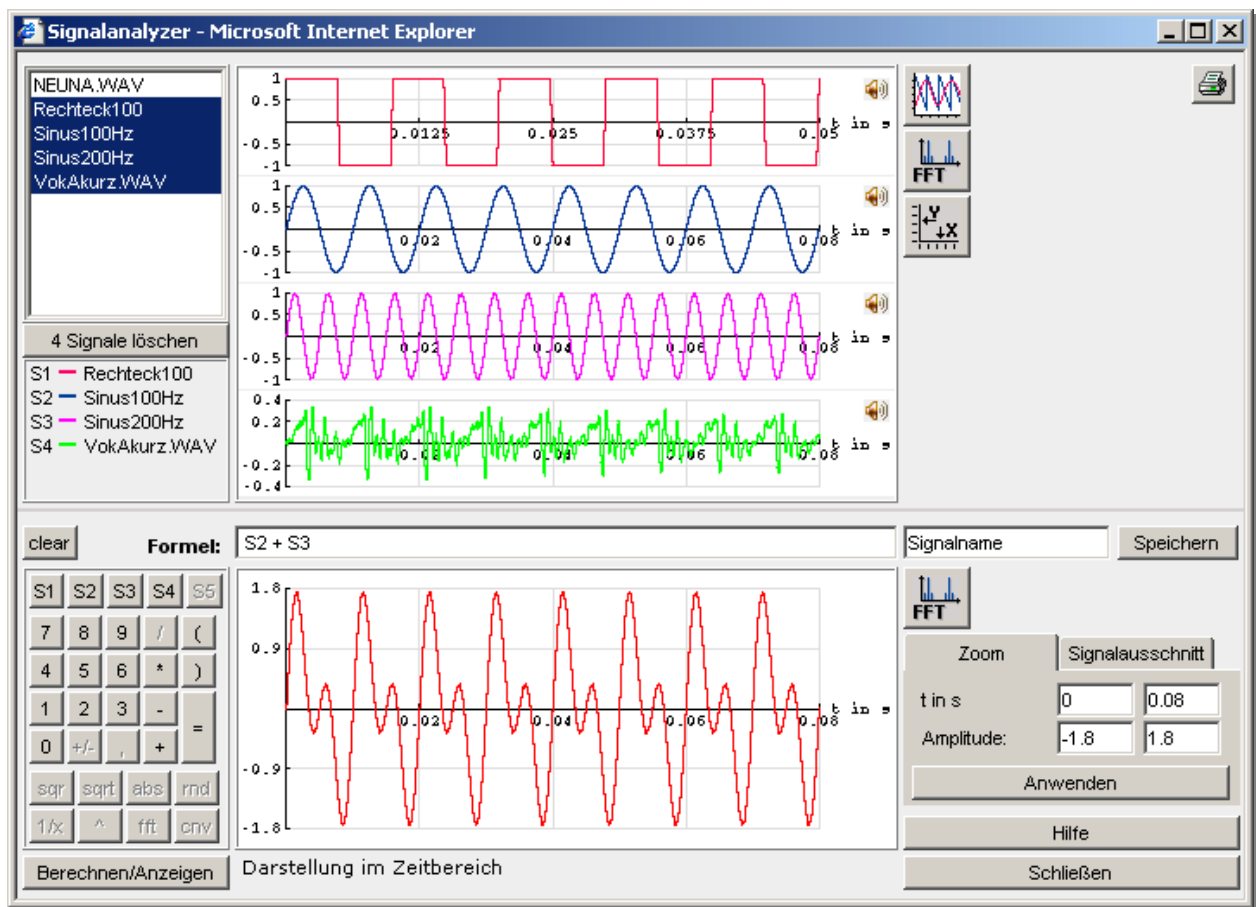
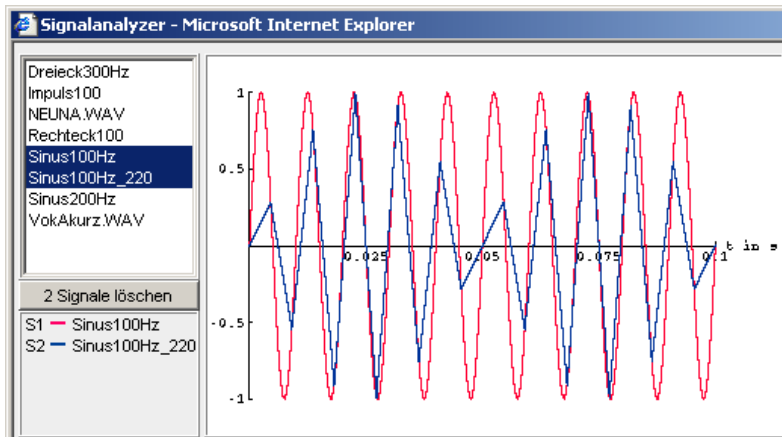


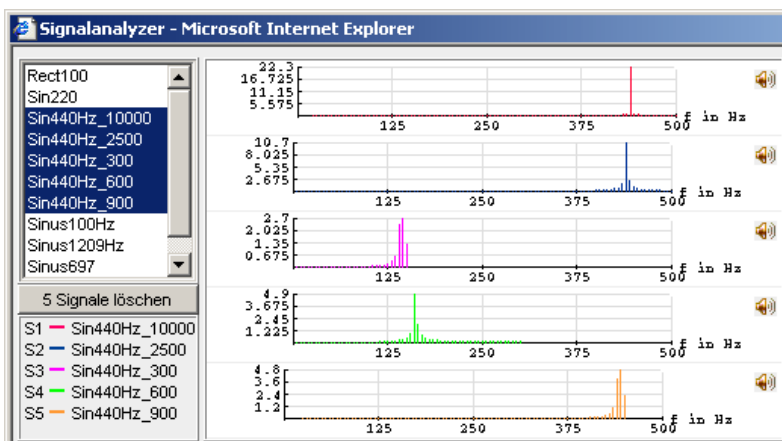
Abbildung 4.9 Der Signalanalyzer als virtuelles Gerät mit der Darstellung von vier Zeitsignalen in je einem Koordinatensystem und einem Summensignal aus zwei Sinussignalen

- Mit der **Verarbeitungseinheit** in der unteren Fensterhälfte lassen sich diverse Signalmanipulationen durchführen. Der Funktionsumfang des Signalanalysers umfasst momentan neben der Fourier-Transformation auch Funktionen wie additive und multiplikative Verknüpfungen von Signalen, z.B. zur Behandlung von Aufgaben zur Modulation, zu Fragen der Signalabtastung, Schwebung usw. Die Ergebnissignale können gespeichert werden und stehen so als Ausgangssignal für weitere Operationen zur Verfügung.

Wie auch im Funktionsgenerator steht neben der visuellen Darstellung die akustische Wiedergabe der Signale zur Verfügung. Zusätzlich können zu Dokumentationszwecken die Signalgraphiken mit einem Kommentar versehen und ausgedruckt werden. Mit der Download-Funktion lassen sich die Signal-Dateien im Wav-Format auf den eigenen Rechner herunterladen.

**Abbildung 4.10**

Ausschnitt Signalanalyser:
Anzeige von 2 Zeitsignalen im
gemeinsamen Koordinatensystem
(Multi-Signal-View)

**Abbildung 4.11**

Ausschnitt Signalanalyser:
Anzeige der 5 Spektren in je
einem Koordinatensystem
(Single-Signal-View)

4.4.4 Virtuelle Geräte im Einsatz

Die virtuellen Geräte sind individuell und kontextunabhängig in der Lernumgebung nutzbar.

- Einerseits, z.B. bei den Vorbereitungsaufgaben des Online-Praktikums, werden die zur Bearbeitung der jeweiligen Teilaufgaben notwendigen virtuellen Geräte in einer Geräteleiste bereitgestellt. Diese Geräteleiste enthält grafische Schaltflächen, die nach Aktivieren das entsprechende Gerät starten. Die für das Gerät und den angemeldeten Nutzer vorhandenen Daten (in Abhängigkeit des erwarteten Datenformates, wie z.B. eindimensionale Signaldaten, Kennwertdaten) werden aus der Datenbank geladen und stehen für die weitere Bearbeitung bereit. Sie liefern dem Studierenden die Möglichkeit der beliebigen Wiederholbarkeit von Arbeitsschritten, z.B. zur Untersuchung von Algorithmen bei unterschiedlicher Parametervariation.
- Andererseits besteht neben der Nutzung der virtuellen Geräte in direktem Zusammenhang mit den Praktikums- oder Übungsaufgaben die Möglichkeit, eigene Frage- und Problemstellungen zu bearbeiten, d.h., im Gegensatz zu rein tutoriell geführten Systemen wird explorierendes Lernen angeregt und unterstützt. Vor diesem Hintergrund ist der Einsatz für eigenständige experimentelle Untersuchungen und Forschungszwecke denkbar und ausdrücklich erwünscht.

4.5 Aufgabenkonzeption

Einen zentralen Aspekt der Lernumgebung vPSM stellt das Bearbeiten konkreter Fragen bzw. Aufgaben zu den Lehrinhalten dar. Sie dienen innerhalb des Informationspools dem Erwerb von Wissen und im Rahmen des webbasierten Praktikums kann mit ihnen geprüft werden, ob der vermittelte Lehrstoff gelernt, d.h. verstanden wurde und damit aktiv angewandt werden kann. Beim Aufgabendesign sind verschiedene Aspekte bezüglich der Inhalte, des Layouts bzw. der Strukturierung zu berücksichtigen, auf die in den folgenden Kapiteln eingegangen wird. Da in der Lernumgebung zahlreiche Aufgaben notwendig sind, ist die Erhöhung der Effizienz und die weitestgehende Automatisierung bei der Aufgabenstellung ein Kernanliegen.

4.5.1 Themenkomplexe und Teilaufgaben

Um das Verständnis für den Zusammenhang und die Einflussfaktoren der Signalverarbeitungs-algorithmen für den Lernenden möglichst aus praktischer Sicht aufzubauen, orientieren sich die Themenkomplexe „Signalvorverarbeitung“, „Merkmalsextraktion“ und „Klassifikation“ an Aufgabenstellungen, die einen konkreten praktischen Bezug erkennen lassen, wie im folgenden Beispiel und in Abbildung 4.12 dargestellt. Anhand der folgenden Beschreibung von Rahmenszenarien für mögliche abstrakte Aufgabenvarianten aus dem Komplex „Signalvorverarbeitung“ soll dies demonstriert werden:

Beispiel 4.1 Entwurf eines einfachen Systems zur Spracherkennung

Es ist ein Erkennungssystem zu entwerfen, welches Sprachsignale erfasst, analysiert und unterscheidet.

Mit der Einschränkung, dass nur einsilbige Farbworte (z.B. „rot“, „blau“, „grün“) zugelassen sind, wären Anwendungen wie folgt denkbar:

- a) ein sprachgesteuerter Sortierautomat, der ankommende Objekte aufnimmt und farblich sortiert in Behältern ablegt (Abbildung 4.12a)
- b) eine automatisch arbeitende Farbmischanlage, die sprachgesteuert die zuzusetzenden Grundfarben anfordert (Abbildung 4.12b)

Bei richtungsweisenden Begriffen, wie „Links“, „Rechts“, „Start“ und „Stop“ ließe sich

- a) ein fahrender Automat durch ein Labyrinth steuern bzw.
- b) die Ansteuerung eines Befüllungsmechanismus für ein Regal-/Lagersystem realisieren. Dabei transportiert z.B. eine sprachgesteuerte Krananlage die Ware in die dafür vorgesehenen Aufbewahrungsboxen.

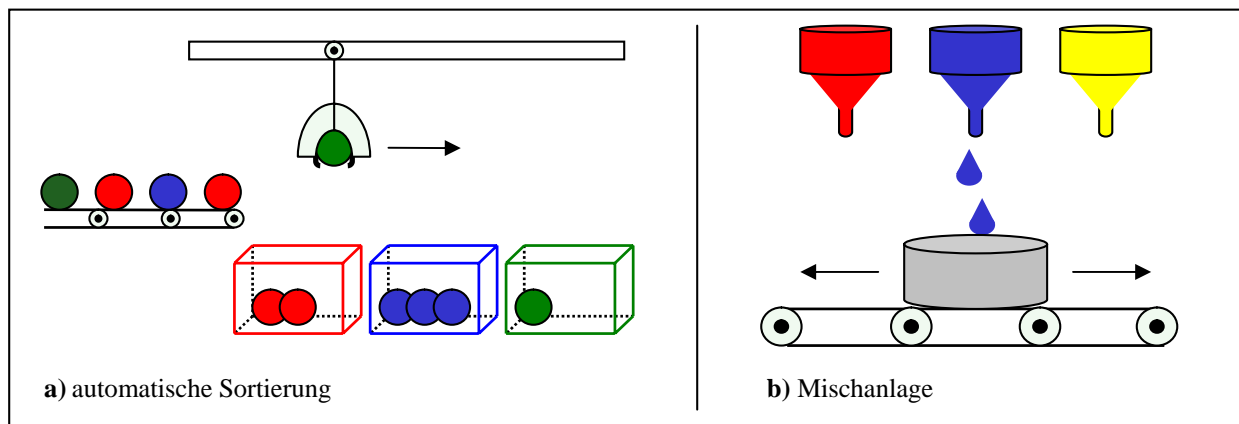


Abbildung 4.12 Beispiele für sprachgesteuerte Erkennungssysteme

Das Ziel ist dabei: für komplexe Probleme, die von der Aufnahme der Problemstellung bis zur Erarbeitung der Lösungen die Entwicklung einer komplexen Lösungsstrategie verlangen, in Form eines Praktikums zu bearbeiten. Aus diesen komplexen Aufgabenstellungen lassen sich beliebig viele Teilaufgaben, die wiederum aus Aufgabeneinheiten¹⁸ bestehen, ableiten. Diese wiederum behandeln jeweils unterschiedliche mathematische bzw. signaltheoretische Algorithmen. Die Teilaufgaben und die Aufgabeneinheiten sind in einem Aufgabenkatalog zusammengefasst und bilden die Basis für die Praktika.

So unterschiedlich diese Aufgabenstellungen auch scheinen mögen, lassen sich zu deren Realisierung äquivalente Überlegungen anstellen, die wiederum äquivalente Bearbeitungsschritte erfordern. Die daraus abgeleitete Aufsplittung in elementare Analyse- und Bearbeitungsschritte bildet die Grundlage für die Teilaufgaben. Diese Teilaufgaben (Tabelle 4.3 enthält Überlegungen zur Ableitung möglicher Teilaufgaben) sind von den Studenten innerhalb der Lernumgebung vPSM im Rahmen eines Online-Praktikums zu bearbeiten. Dabei ist in der Vorbereitungsphase, die als Zulassungskriterium für das Praktikum dient, das Wissen anhand einfacher, in der Regel determinierter Signale zu erarbeiten bzw. nachzuweisen.

Eine ähnliche Übersicht ließe sich erstellen, wollte man ein eher technisch gelagertes Problem (z.B. die Untersuchung elektromechanischer Systeme, wie die Getriebeeinheit eines Alles-schneiders) mittels Geräuschanalyse bearbeiten. Hier kommen Aspekte bezüglich Ort der Signalaufnahme, Berücksichtigung von Konstruktionsparameter, Schwingungsausbreitung, Drehzahlmessung, Leistungsaufnahme usw. hinzu.

¹⁸ Aufgabeneinheiten sind kleinste, selbständige, wiederverwendbare Einheiten mit einheitlicher Strukturierung und standardisierten Komponenten.

Tabelle 4.3 Auswahl von Bearbeitungsschritten zur Ableitung von Teilaufgaben für den Entwurf eines Spracherkennungssystems

Aufnehmen von Signalproben

- Fragen zur Aufnahmetechnik (Sprachsignale: Luftschallaufnahme mittels Mikrophon, elektro-mechanisch basierte Geräusche: Körperschallaufnahme mittels Beschleunigungsaufnehmern)
- Berücksichtigung des Einflusses unterschiedlicher Messparameter z.B. bei der analogen Filterung, der Verstärkung und der AD-Wandlung (Abtastfrequenz, Signaldatenlänge)

Analyse im Zeit- und Frequenzbereich

- Vergleich der Aufnahmen im Zeit- und Frequenzbereich (visuell und akustisch)
- Herausarbeitung der Eigenart der Frequenzmuster
- Vergleich der Leistungsfähigkeit von Amplituden- und Leistungsspektrum
- Anwenden weiterer Frequenzdarstellungen (z.B. Kurzzeit-Fourier-Analyse)
- Einfluss verschiedener Fensterfunktionen und Fensterbreiten
- Spezifik der Stimm-/Spracherzeugung berücksichtigen (Resonanzen und Formanten)
- Herausstellen einfacher unterscheidbarer Merkmale, z.B. charakteristische Spektralanteile

Erzeugen eines Referenzdatensatzes

- Auswählen charakteristischer Signaldatensätze als Referenzdaten anhand von Ähnlichkeiten
- Anwenden von Korrelationsfunktionen
- Berechnung des Korrelationsfaktors aus z.B. Frequenzspektren des kompletten Signals

Verfeinerung und Optimierung

- Fensterung von charakteristischen Signalausschnitten im Zeitbereich (z.B. Selektieren der Vokalbereiche aus Zeitsignal und betrachten der zugehörigen Frequenzspektren) zur Verbesserung der Unterscheidbarkeit
- Berechnung des Korrelationsfaktors aus Frequenzspektren des Signalausschnittes (z.B. nur der Vokalspektren) und Vergleich
- Berücksichtigung von Sprecherbesonderheiten z.B. bezüglich Sprechgeschwindigkeit, Sprachgrundfrequenz, stimmlichen Schwankungen

Anwendung auf Testdatensatz

- Prüfen der Robustheit des Systems in Zusammenhang mit Überlegungen zu Mittelwertbildung, Frequenzauflösung usw.
-

Jedes Problem hat seine eigene Spezifik, die es zu erkennen gilt. Dazu sind oft jahrelange praktische Erfahrungen erforderlich, in die in Zusammenhang mit einem Praktikum den Studierenden ein kleiner Einblick gegeben werden soll. Die mathematischen bzw. signaltheoretischen Grundlagen sind stets gleich und ihr Verständnis bildet deshalb die Grundvoraus-

setzung für komplexes Arbeiten. Gewonnen wird dies in erster Linie durch Bearbeiten von Aufgaben mit unterschiedlichen Problemstellungen.

4.5.2 Konzept und Layout der Aufgaben

Das Erstellen und Verwalten von Aufgaben sollte aus Sicht des Aufgabenautors so einfach wie möglich gehalten werden. Eine gründliche Analyse und eine sorgfältige Konzeption ist notwendig, um die komplexen programmtechnischen Anforderungen einerseits und eine einfache Handhabung aus Sicht des Nutzers (Aufgaben-Autor, Lernender) andererseits zu vereinen.

Die Analyse und die Erfahrungen bei der Aufgabeerstellung haben ergeben, dass es aufgrund der Struktur der bisher entwickelten Aufgaben zur Signal- und Mustererkennung möglich ist, ein relativ einheitliches Layout zu erstellen. Auch die Datenstrukturen und die Verwaltung der Aufgaben sowie ihre Funktionalität, z.B. bezüglich Interaktivität, sind relativ einheitlich. Was sich von Aufgabe zu Aufgabe stets unterscheidet sind die Inhalte der Aufgabenstellungen.

Die Aufgaben-Analyse hat gezeigt, dass eine Template Engine¹⁹ für diese Umsetzung optimal geeignet ist. Sie wurde nach dem Model-View-Controller-Modell (vg. Kapitel 5.1) realisiert und setzt folgende Punkte um:

- einheitliches Look-and-Feel aller Aufgabenseiten
- Kapselung der funktionalen Anforderungen, wie in Tabelle 4.4 beschrieben
- unabhängige Entwicklung von Layout und Inhalt, d.h. der Aufgaben-Autor muss sich nur um die Aufgabeninhalte, hier konkret um: Titel, Aufgabetext, verwendete virtuelle Geräte, erwartetes Ergebnis usw. kümmern
- flexible Gestaltung und Zusammenstellung der Aufgaben
- Wiederverwendbarkeit von Teilaufgaben, Aufgabeneinheiten und Aufgabenkomponenten

Neben den funktionellen Anforderungen (Siehe Tabelle 4.4) der Aufgabenseiten (MVC: Controller), war ein Layout (MVC: View) zu entwerfen, welches die verschiedenen Aufgabenvarianten berücksichtigt und aus Sicht des Nutzers (Lernender) eine übersichtliche Darstellung und schnelle Einarbeitung erlaubt. Es wurde schließlich das in der Abbildung 4.13 dargestellte Layout zur einheitlichen Realisierung aller Aufgaben entwickelt und umgesetzt.

¹⁹ Template Engine: erlaubt die Trennung von Programmlogik und Design. Erst zur Laufzeit werden in die Seitenvorlagen mit Platzhaltern (Templates) die Inhalte aus verschiedenen Datenquellen eingetragen.

Tabelle 4.4 Übersicht möglicher Funktionalitäten einer Aufgabenseite (MVC: Controller)**Anzeige der Aufgabenelemente**

Die Aufgabenelemente, wie z.B. der Aufgabentext mit eventuell erläuternden Abbildungen, die Bereitstellung der jeweils benötigten virtuellen Geräte in der Geräteliste und die Eingabelemente für die Ergebnisse sind entsprechend des Datentyps (Text, Bild, Web-Links) und der Style-Sheets darzustellen.

Aktualisieren der aufgaben- und nutzerspezifischen Anzeigeelemente

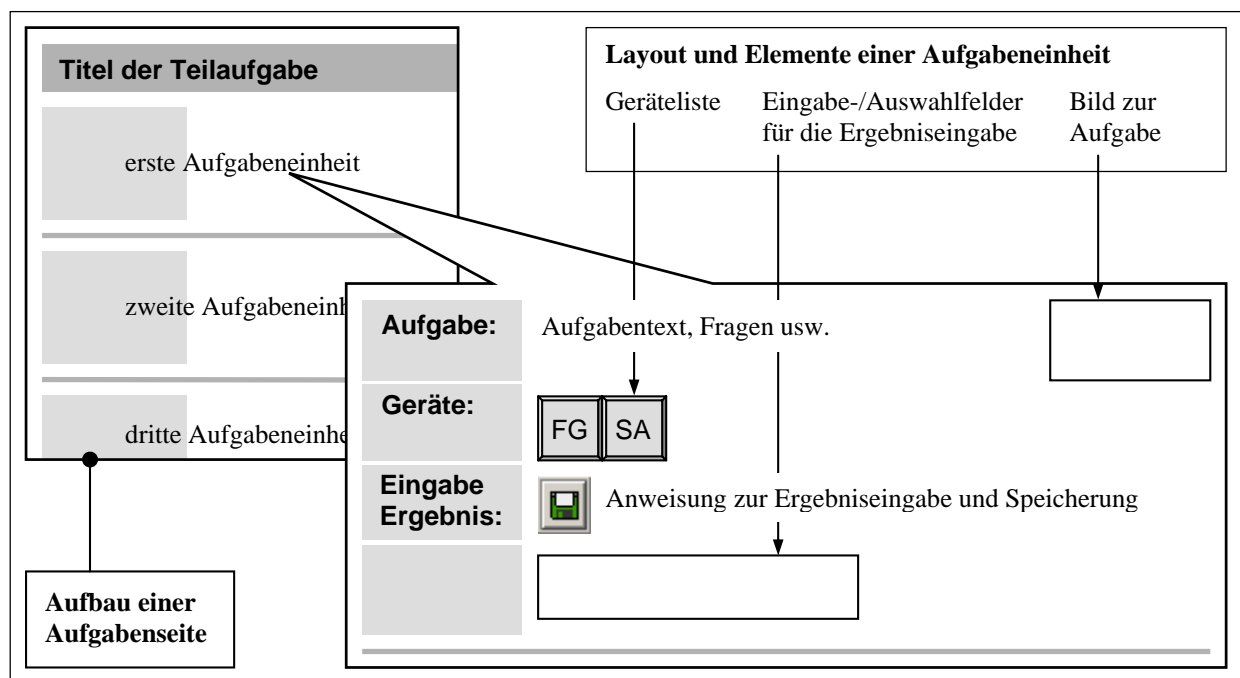
Wird bei der Ergebnis-Eingabe z.B. aus der Signal-Auswahlliste eine Signal selektiert, löst dies eine Refresh-Anforderung der aktuellen Seite auf dem Server aus. Dabei wird die zum selektierten Signal zugehörige Abbildung berechnet und auf der aktualisierten Seite angezeigt.

Speichern und Anzeigen der Ergebnisdaten

Beim Speichern bzw. Anzeigen der Ergebnisdaten, die dem jeweiligen Nutzer zugeordnet sind, ist der Zugriff auf die Datenbank erforderlich.

Anforderung der Aufgabenseite als Druckversion

Beim Erstellen der Druckversion einer Aufgabenseite werden neben den statischen Aufgabenelementen die bereits vorhandenen Ergebnisdaten in einem gesonderten druckfähigen Layout in einer neuen Seite für die Ausgabe auf dem Drucker bereitgestellt.

**Abbildung 4.13** Layout der Teilaufgaben und der Aufgabeneinheiten

Jede Teilaufgabe wird in einer eigenen Aufgabeseite dargestellt. Sie kann mit einem Titel versehen werden. Die Teilaufgabe kann beliebig viele Aufgabeneinheiten enthalten. Jede Aufgabeneinheit setzt sich aus den in der Abbildung 4.13 dargestellten Elementen (Aufgabentext, Bild, Geräteliste, Ergebnisanforderung, Ergebnis-Eingabeelemente, Kommentar) zusammen, wobei einzelne Elemente, z.B. das Bild zur Teilaufgabe, optional sind.

Den Rahmen der Seite bildet eine Tabellenstruktur, die das farbliche Hervorheben bzw. die Strukturierung der Seite und somit ein schnelles Zurechtfinden unterstützt.

Das beschriebene Konzept gestattet dem Aufgaben-Autor also, sich auf das Erstellen der Aufgaben-Inhalte zu konzentrieren. Er muss keine JSP-Seiten programmieren, d.h. er muss sich weder um das Layout (MVC: View) und die Funktionalität (MVC: Controller) jeder neuen Seite noch um das Datenmodell (MVC: Model) kümmern. Die Generierung, das Layout, die logische Verknüpfung der Seiteninhalte und die Zuordnung der Ergebnisdaten wird von der Template Engine realisiert, die dadurch auch für ein einheitliches Look-and-Feel sorgt, denn ein einheitliches Erscheinungsbild sieht nicht nur gut aus, sondern steigert auch die Lesbarkeit und verringert den Aufwand für das Einarbeiten. Die Template Engine erzeugt die Aufgabenseiten dynamisch aus der Datenbank entsprechend dem definierten Style-Sheet²⁰. Einmal erfasste Aufgabeneinheiten und Aufgabenkomponenten (z.B. Bilder, Animationen, Signale) können so wiederverwendet, variabel kombiniert und in Aufgabenpaketen zusammengestellt werden. Eine detaillierte Beschreibung aus datentechnischer Sicht (MVC: Model) mit der genauen Darstellung und Verwendung der einzelnen Elemente wird im Kapitel 5 gegeben.

Neben der Generierung der Aufgabenseiten wird so auch die Auswertung der Nutzerdaten über die Datenbank unterstützt. Dazu erfolgt die Zuordnung der Aufgaben und der Ergebnisse zum jeweiligen Nutzer. Durch den konsequenten Einsatz der Datenbank muss sich der Aufgabenautor auch nicht um die Zuordnung und Speicherung der Ergebnisdaten zum entsprechenden Nutzer kümmern. Dies gestattet verschiedene Auswertemechanismen für den Lehrenden, wie z.B. Protokollierung (Logging) besuchter Seiten, Verweildauer, Aktionen usw., anzuschließen und so den Bearbeitungsprozess selbst zu untersuchen. Auch das Erstellen und Ausdrucken eines Ergebnisprotokolls (Druckversion der Aufgabe mit den erzielten Ergebnissen) ist für den Nutzer leicht möglich. Im folgenden Kapitel ist die Umsetzung dieses Aufgabenkonzeptes anhand eines konkreten Beispiels aus Sicht des Nutzers dargestellt.

4.5.3 Aufgaben bearbeiten

Anhand des folgenden Beispiels soll das Aufgabenkonzept demonstriert und das Vorgehen bei der Bearbeitung einer Aufgabe mit den virtuellen Geräten beschrieben werden. Dazu wurde die

²⁰ Dieser kann bei Bedarf leicht verändert oder ausgetauscht werden.


in Abbildung 4.14 dargestellte Aufgabe zur Problematik „Schwebung“ ausgewählt. Sie besteht in der hier dargestellten Variante nur aus einer Aufgabeneinheit.


Entsprechend des in Kapitel 4.5.2 beschriebenen Aufgaben-Layouts folgt dem Aufgabentitel, der Aufgabentext, die Leiste der Geräte-Schaltflächen zum Starten der für diese Aufgabe notwendigen virtuellen Geräte (hier: Funktionsgenerator und Signalanalyzer) und die Eingabelemente für die Ergebnisse (hier: Signal-Auswahlliste) mit der entsprechenden Aufforderung zur Ergebnisspeicherung.

Vorbereitungsaufgaben > **Aufgabe: Schwebung** > [Ergebnisse drucken...](#)

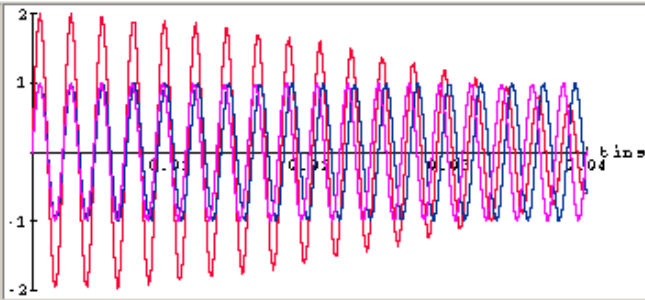
Es soll das Phänomen der Schwebung demonstriert werden!

Aufgabe: Erzeugen Sie zwei geeignete Sinussignale mit dem Funktionsgenerator, mit denen das Phänomen "Schwebung" demonstriert werden kann. Wählen Sie die Abtastfrequenz hinreichend hoch und beachten Sie, dass beide Signale mit der gleichen Abtastfrequenz abgetastet werden. Verknüpfen Sie sie anschließend im Signalanalyzer so, dass eine Schwebung entsteht!

Geräte: 

Eingabe Ergebnis:  **Wählen Sie die 3 von Ihnen erzeugten Signale aus der Liste aus und speichern Sie anschließend!**

Rechteck200Hz
 Schwebg100105
Schwebg440450
 Sinus100Hz
 Sinus105Hz
 Sinus200Hz
 Sinus440
 Sinus450



Legende:
 — Schwebg440450
 — Sinus440
 — Sinus450

Abbildung 4.14 Aufgabenbeispiel „Schwebung“

Hat sich der Student nach dem Lesen der Aufgabenstellung mit der inhaltlichen Problematik vertraut gemacht und schreitet an die Lösung der Aufgabe, sind von ihm im ersten Schritt die Eingangssignale zu erzeugen.

Da es sich bei der Schwebung um die additive Überlagerung zweier sinusförmiger Schwingungen gleicher Amplitude handelt, die sich in ihrer Frequenz nur wenig voneinander unterscheiden, sind mit dem Funktionsgenerator diese zwei Signale zu erzeugen. Der Funktionsgenerator wird durch Betätigen des Funktionsgenerator-Buttons in der Geräteliste gestartet. Nach dem Festlegen der Signalparameter im Funktionsgenerator werden die Signale gespeichert. Bei der in Abbildung 4.14 dargestellten Lösung der Aufgabe wurden ein 440-Hz- und ein 450-Hz-Sinussignal (mit den Signalnamen: Sinus440, Sinus450) erzeugt und alle weiteren Parameter²¹

²¹ Im Kapitel 4.3.1 wird der Funktionsgenerator mit seinen einstellbaren Parametern detailliert beschrieben.

entsprechend der Abbildung 4.15 gewählt. Wird die akustische Wiedergabefunktion über den Lautsprecherknopf im Funktionsgenerator genutzt, ist für ein geschultes Ohr ein Tonunterschied beider Signale wahrnehmbar.

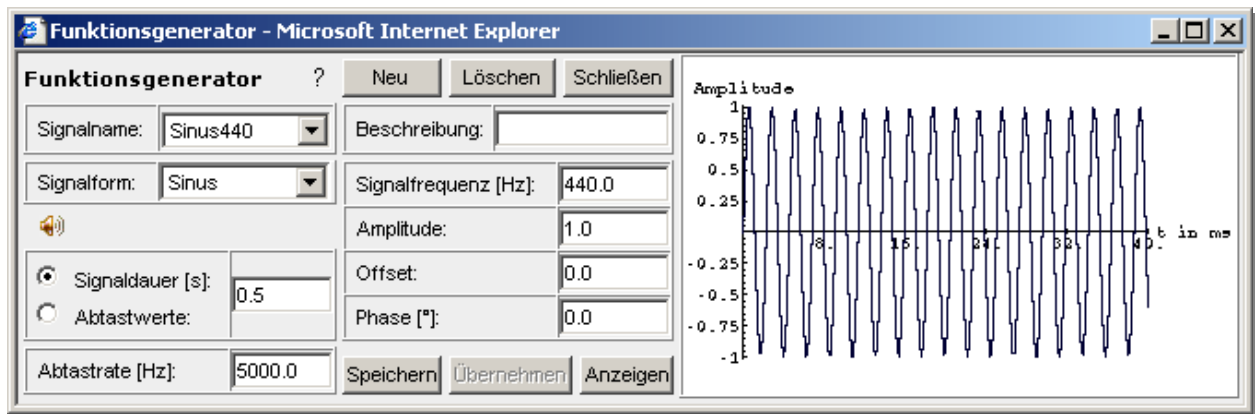


Abbildung 4.15 Erzeugung eines 440-Hz-Sinussignals mit dem Funktionsgenerator

Nachdem beide Signale generiert wurden, ist der Signalanalyser zu starten, um die Signalverknüpfung vorzunehmen (Siehe Abbildung 4.16). Die Signale sind zuerst im oberen Anzeigebereich des Signalanalysers durch Anklicken mit der Maus auszuwählen. In der unteren Verarbeitungseinheit ist jetzt die Eingabe der Signaloperation erforderlich. Dies kann über die Tastatur oder über die Schaltflächen des Taschenrechners geschehen. Nach erfolgreicher Berechnung und Darstellung des Ergebnissignals kann dieses gespeichert werden (Signalname: Schwebg440450). Mittels weiterer Funktionen²² (z.B. Ausschnittvergrößerung, Darstellung der Spektren, akustische Wiedergabe) kann das Ergebnis genauer analysiert werden.

Dabei ist z.B. festzustellen, dass man akustisch keine getrennten Töne wahrnimmt, sondern einen einzigen Ton dessen Frequenz dem Mittelwert der Frequenzen der beiden Töne entspricht und dessen Lautstärke regelmäßig ab- und zunimmt.

Abschließend sind in der Aufgabenseite entsprechend der Anweisung „Eingabe Ergebnis:“ aus der Signal-Auswahlliste die drei für diese Aufgabe erzeugten Signale zu selektieren und mittels der Schaltfläche „Speichern“ zu speichern. Wird die Aufgabenseite zu einem späteren Zeitpunkt vom Studenten wieder aufgerufen, werden ihm seine einmal gespeicherten Ergebnisse wieder angezeigt. Der Student hat weiterhin die Möglichkeit aus der Aufgabenseite eine Druckversion in Form eines Protokolls komplett mit Aufgabenstellung und gespeicherten Ergebnissen für die eigenen Unterlagen zu erzeugen und auszudrucken.

²² Im Kapitel 4.3.2 wird der Signalanalyser und seine Funktionen detailliert beschrieben.

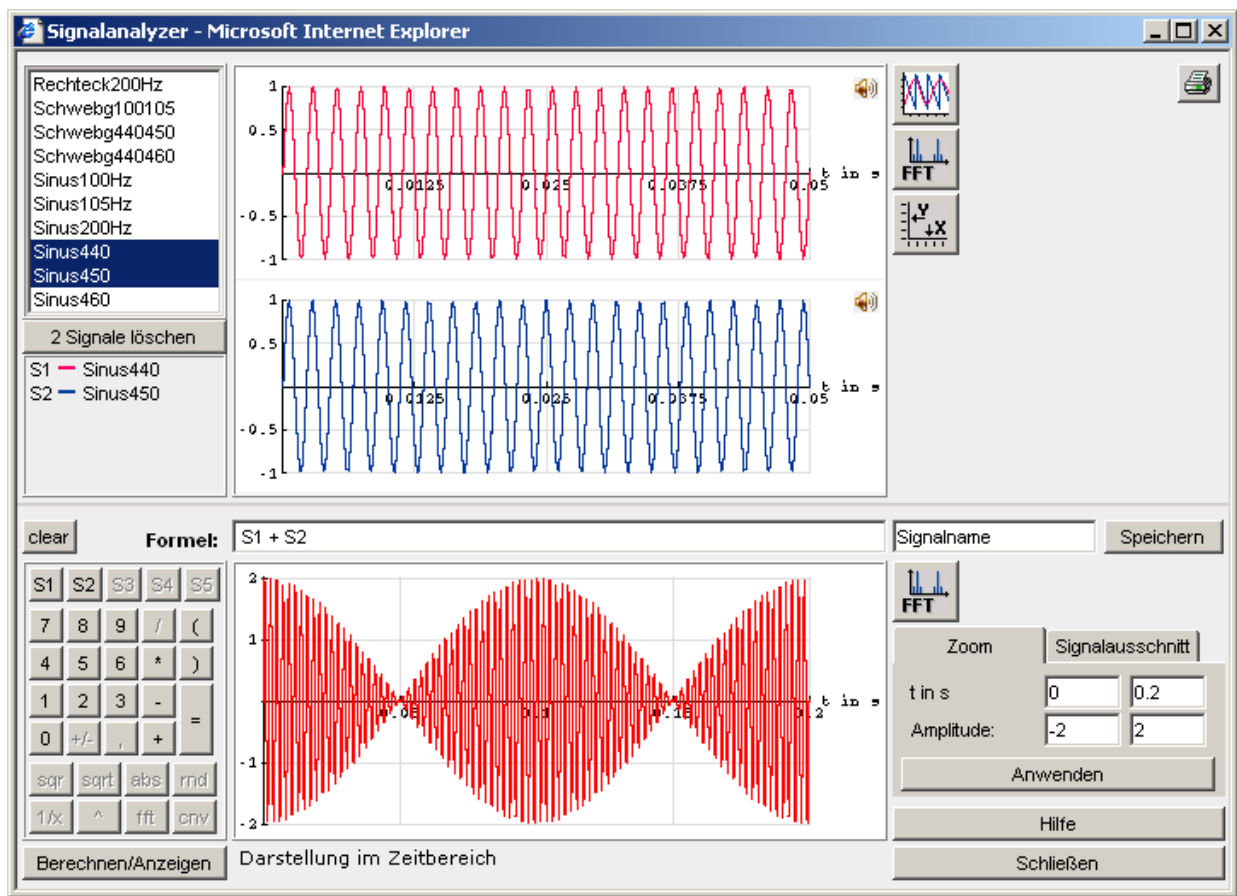


Abbildung 4.16 Berechnung der Schwebung mit dem Signal-Analyzer

Da diese Aufgabenseite aus der Datenbank dynamisch erzeugt wird²³, ist es ganz unproblematisch zu dieser sehr einfachen Aufgabenversion zur Problematik „Schwebung“ verschiedene Varianten zu entwickeln. Dabei kann z.B. untersucht werden, bis zu welcher Frequenzabweichung dieses Phänomen noch wahrnehmbar ist bzw. welche praktische Relevanz diese Erscheinung besitzt (z.B. Musiker zum exakten Stimmen der Instrumente, Bewegungsmelder, Gütekontrolle). Die Aufgabe könnte um weitere Aufgabeneinheiten erweitert werden, z.B. dahingehend den Studierenden aufzufordern, weitere Frequenzkombinationen zu wählen bzw. zu untersuchen, in welcher Abhängigkeit die Schwebung schneller oder langsamer wird. Außerdem lassen sich für jeden Benutzer die Werteparameter datenbankgesteuert variieren. Hier in diesem Beispiel könnten verschiedene Signal- bzw. Abtastfrequenzen vorgegeben werden. So erhält jeder Benutzer **seine** Praktikumsaufgabe.

²³ Eine genaue Beschreibung der Realisierung mit der Datenbank wird in Kapitel 5.3.2 geliefert.

5 Technische Realisierung der Lernumgebung

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der technischen Umsetzung der Lernumgebung vPSM. Dazu werden anhand der Rahmenbedingungen aus Kapitel 4 die verwendeten Softwaretechnologien, d.h. die Programmiersprachen, die Benutzerschnittstelle und die Datenverwaltung diskutiert. Ausgehend von der Darstellung der Systemarchitektur wird die Integration von Mathematica und der Datenbank näher betrachtet und im Anschluss anhand konkreter Beispiele das Zusammenwirken der Komponenten dargestellt.

5.1 Anforderungsanalyse und Technologieauswahl

Bei der Auswahl der Technologien für die softwaretechnische Realisierung der Lernumgebung „Virtuelles Praktikum für die Signal- und Mustererkennung“ sind eine Reihe von Anforderungen und Rahmenbedingungen zu berücksichtigen, die sich formal in zwei Klassen unterteilen lassen:

Nichtfunktionale Anforderungen

- Um den Einarbeitungsaufwand für den Nutzer möglichst gering zu halten, ist eine einfache, intuitiv bedienbare Applikation zu schaffen, die sich an den weit verbreiteten Bedien- und Layoutstandards orientiert.
- Es sollte für den Nutzer nur ein geringer oder besser kein Installationsaufwand entstehen.
- Der Nutzer soll keine Anwendungs- oder Programmiersprache zur Bedienung des Programms lernen müssen.
- In Hinblick auf die Nachhaltigkeit der Applikation muss bei der Planung und Entwicklung berücksichtigt werden, dass eine inhaltliche und funktionelle Erweiterung, eine Wiederverwendbarkeit von Inhalten und Programmen und die Integration extern entwickelter Komponenten leicht möglich ist.
- Überarbeitete Versionen der Applikation sollten dem Nutzer so zur Verfügung gestellt werden, dass er stets mit den aktuellen Materialien arbeiten kann, ohne dass für ihn ein zusätzlicher Installations- bzw. Beschaffungsaufwand entsteht.
- Beim Lernen sollte der Nutzer einen möglichst individuellen, orts- und zeitunabhängigen Zugriff auf die Anwendung haben.

Funktionale Anforderungen

an die Nutzdaten:

- Es sind die unterschiedlichsten Anforderungen (vgl. Kapitel 3.3.2) bezüglich der Generierung, Manipulation und Präsentation von synthetischen Signalen und Datensätzen zu erfüllen.
- Gleichzeitig ist die Nutzung und Verarbeitung realer, messtechnisch erworbener Signale und Datensätze zu gewährleisten.
- Und in - dritter Instanz - ist die Verknüpfung von realen und synthetischen Signalen und Datensätzen zu ermöglichen.
- Dies erfordert Datenformate, die neben den eigentlichen Datenwerten (z.B. Samples einer Zeitfunktion, Kennwerte) zusätzliche, den Datensatz beschreibende Parameter – Metadaten - (z.B. Abtastfrequenz, Klassenzugehörigkeit) erfassen.

an die Personendaten:

- Um die Handhabung der verschiedenen Einsatz-Szenarien (vgl. Kapitel 4.1.3) den Nutzern anzupassen, sind verschiedene Nutzer-Rollen zu definieren: normaler Nutzer, Praktikant mit der Unterteilung in Praktikumsvorbereitung und Praktikumsdurchführung, Lehrender (Aufgabenautor/Praktikumsbetreuer), Entwickler und Administrator.
- Mit den Rollen sind Nutzer-Rechte verbunden, die festlegen wer, wann, was tun darf. Die Rechte steuern die Sichtbarkeit bestimmter Seiteninhalte und Schnittstellen.

allgemein:

- Die Einarbeitung in das Praktikumsthema und das Lösen der Vorbereitungsaufgaben sind von den Praktikumsteilnehmern von zu Hause aus vorzunehmen. Das Informationsmaterial und die Aufgaben sollen dazu online über das Internet zur Verfügung gestellt werden.
- Die Aufgaben werden für jeden Praktikumsteilnehmer individuell aus einem Aufgabenpool zusammengestellt; es gibt keine Standardaufgaben.
- Zur allgemeinen Information, zur Praktikumsvorbereitung bzw. zur Begleitung der Lehrveranstaltung sind Informationstexte, Lernmodule, Animationen, Simulationen usw. in einer einheitlich organisierten Oberfläche bereitzustellen.
- Eine Unterstützung des Nutzers ist über eine jederzeit erreichbare Hilfe (inhaltlich und systembeschreibend) zu gewährleisten.
- Durch die Speicherung von Zwischenergebnissen ist die Wiederverwendung erzeugter Daten bzw. die spätere Auswertung dieser möglich. Der Nutzer muss nicht bei jedem Neuaufruf der Anwendung die Bearbeitung von vorn anfangen.
- Dazu ist eine Nutzerverwaltung in Anbindung an eine datenbankgesteuerte Verwaltung der Aufgaben zu organisieren.

- Um nicht alle signaltheoretischen Algorithmen und die Berechnung und Erzeugung der Präsentationsobjekte selbst programmieren zu müssen, was sowohl aus Zeit-, Sicherheits- und Qualitätsgründen nicht sinnvoll ist, ist die Nutzung und Integration externer, mathematischer Tools anzustreben.

Diskussion der Basistechnologie

Bei der Wahl der Basistechnologien wurden die folgenden Lösungsansätze betrachtet und hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile bzw. entsprechend den beschriebenen Anforderungen untersucht.

- a) Nutzung vorhandener Softwaresysteme zur Signalverarbeitung, wie z.B. LabView¹, DasyLab
Vorteil: Diese professionell erstellten Systeme liefern viele Fähigkeiten, wie z.B. eine ansprechende Oberfläche, Signalflusspläne, mathematische Operationen, die sofort genutzt werden können.
Nachteil: Wie schon im Kapitel 3.1 herausgearbeitet, bieten sie in der Regel keine Erweiterungsmöglichkeiten hinsichtlich Nutzerrollen, nutzeigenen Daten, Auswertung der Ergebnisse, Integration einer direkt geführten Problemlösung usw. Des weiteren erfordern sie meist einen mittleren bis hohen Einarbeitungsaufwand und sind nicht frei zugänglich.
- b) selbsterstellte Anwendung in einer aktuellen Programmiersprache: Eine Möglichkeit wäre eine reine Java-Anwendung, die mittels Java-Webstart auch auf den Anwendungsrechnern aktuell gehalten werden kann.
Vorteil: Bei einer selbsterstellten Anwendung hat man die volle Kontrolle über alle Nutzeraktivitäten und kann beliebige, erweiterte Anzeigeelemente, z.B. für Messgeräte, integrieren.
Nachteil: Die komplette Bedienoberfläche und Steuerung muss selbst programmiert werden. Um die Entwicklung von Programmteilen auszulagern, also anderen Personen wie Studenten zu übertragen, sind zusätzliche Schnittstellendefinitionen notwendig.
- c) Applet-Lösung
Vorteil: Ist als webbasierte Technologie in aktuellen Browserversionen überall einsetzbar.
Nachteil: Das Applet wird stets neu vom Server geladen und erreicht schon für relativ einfache Funktionalitäten eine nicht unerhebliche Codegröße.
Ein Applet setzt immer eine bestimmte Java-Version im Browser voraus.
Im Applet muss man sich, wie bei der Java-Anwendung, selbst programmtechnisch um die komplette Oberfläche und Steuerung kümmern.

¹ LabVIEW von National Instruments ist eine grafische Entwicklungsumgebung zur Erstellung flexibler, skalierbarer Mess-, Prüf-, Steuer- und Regelungsanwendungen.

d) web- und browserbasierte Multimedia-Anwendung

Aufgrund der oben genannten Anforderungen bietet sich eine Web-Applikation gerade zu an. Die Vor- und Nachteile werden im folgenden Abschnitt beschrieben.

Schlussfolgerungen und Festlegung der Technologie

Die Lernumgebung für die Signal- und Mustererkennung vPSM wurde als Web-Applikation realisiert. Da im universitären Bereich der Ausbildung und speziell bei den Ingenieurwissenschaften die Benutzung des Computers und des Internets gegenwärtig zum Alltag gehört, sollte auch die Frage nach der Verfügbarkeit der Lernumgebung geklärt sein.

Eine browserbasierte Webapplikation hat für diesen Anwendungsfall u.a. folgende Vorteile bzw. ermöglicht die Erfüllung der o.g. Anforderungen:

- Sie gestattet die einfache Erstellung und liefert gute Formatierungsmöglichkeiten von textlastigen Darstellungen zur Aufbereitung von z.B. Informationsseiten. Es lassen sich verschiedene Medien einbinden (Text, Bild, Animation, Video, Ton) und kombinieren.
- Sie liefert vielfältige Möglichkeiten zur Verknüpfung der unterschiedlichen Inhaltsseiten, z.B. über Hypertext- und Hypermediastrukturen.
- Zur Unterstützung unterschiedlicher Lernstile lassen sich diverse Medien (Texte, Bilder: Grafiken und Fotos, Animationen, Audio- und Videosequenzen, Tabellen) einfach in den Seiten integrieren.
- Es werden Standard-Elemente für Interaktionen bereitgestellt, die verschiedene Navigations- und Aktionsmöglichkeiten unterschützen.
- Erweiterungen und Veränderungen der Programmstruktur, der Eingabeelemente und der Inhalte sind sehr leicht möglich.
- Durch die einfach zu realisierende Modularität der einzelnen Komponenten, wie z.B. der fachlichen Inhalte, der Funktionen und der Daten, ist auch die Trennung verschiedener Aufgabenbereiche während der Entwicklung möglich.
- Bei komplexeren Bedienungsanforderungen, wie sie z.B. bei Simulationen notwendig sind, ist eine Einbindung von Applets leicht möglich.
- Dadurch werden geringe Ladezeiten der Module, die den Anwender interessieren, erreicht.
- Es ist eine einfache Integration externer Komponenten (mathematische Tools, Datenbanken) über standardisierte Schnittstellen möglich (JDBC, Java-API, WebServices).

Als nachteilig könnten die fehlende "Drag and Drop"-Funktionalität und die Beschränkung auf browsereigene Eingabe- und Anzeigeelemente angeführt werden. Diese Nachteile beeinträchtigen jedoch nicht die Funktionalität der Anwendung, da die in Kapitel 4.4.1 abgeleiteten Anforderungen an die benötigten Anzeige, Eingabe- und Steuerelemente mit den zur Verfügung stehenden durchaus erfüllt werden können.

Einer der unbestritten wichtigsten Punkte, die heutzutage bei der Entwicklung moderner Applikationen berücksichtigt werden müssen, ist neben der Plattformunabhängigkeit, der Skalierbarkeit, der Modularität und einfachen Erweiterbarkeit, die Trennung von Layout, Inhalt und Logik. Dieses Prinzip der Trennung der Layout-, Inhalt- und Logik-Schicht wird durch ein Design-Pattern, das unter dem Namen Model-View-Controller (MVC) bekannt ist, auch in der Lernumgebung vPSM umgesetzt². Abbildung 5.1 zeigt die Kommunikation und den Datenaustausch zwischen den Komponenten einer MVC-Anwendung.

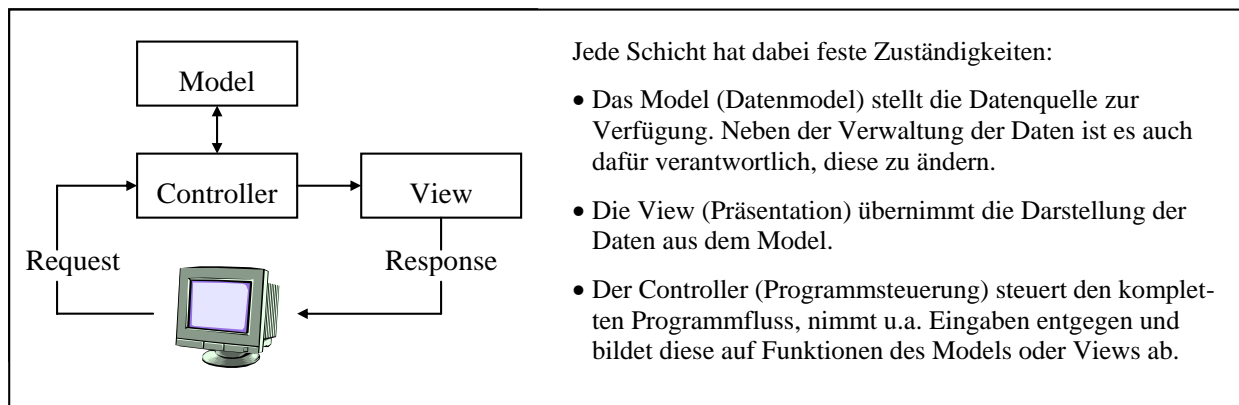


Abbildung 5.1 Das MVC-Konzept im Request-Response-Zyklus nach [Niedermeier, 2004]

5.2 Systemarchitektur

5.2.1 Gesamtüberblick

Die Lernumgebung vPSM wurde als browserbasierte mehrschichtige Web-Anwendung realisiert. Durch die Kombination von bewährten Lehrtools mit den Möglichkeiten der Neuen Medien in Zusammenhang mit datenbankgestützter Auswertung wird hier eine neue Dimension der Interaktivität erreicht. Die wichtigsten Komponenten und Technologien (vgl. Abbildung 5.2), die zur Realisierung der Lernumgebung vPSM verwendet wurden, sind:

- Web-Frontend: Als Frontend, d.h. als Schnittstelle zum Nutzer, dient ein Web-Browser. Die Anwendung wurde mit dem Internet Explorer ab Version 5.x und FireFox 1.0 getestet.
- Web-Server: Im Rahmen der Arbeit wird der im Tomcat³ der Version 4.0.6 enthaltene Web-Server genutzt. Er stellt Informationen nach dem HTTP-Protokoll bereit. Dazu wird der von einem Link in einem Browser ausgelöste HTTP-Request an den mit der HTTP-URL adressierten Web-Server geleitet. Dieser liefert, u.a. durch Hinzuziehung eines Servlet-Containers, die angeforderte HTML-Seite zurück.

² An entsprechender Stelle wird jeweils darauf Bezug genommen.

³ Tomcat ist ein Servlet-Container.

- JSP-, Servlet-Engine: Mittels Java Server Pages⁴ (JSP) und Java Servlets⁵ werden Komponenten und ganze Webseiten dynamisch erzeugt. Dazu transformiert die Tomcat-Servlet/JSP-Engine die JSP-Seiten in ein Servlet, kompiliert dieses und führt es, mit dem Ziel, das Client-Interface zu erzeugen, (HTML-Generierung) aus. Da der Tomcat⁶ in Java geschrieben ist, läuft er auf jedem Betriebssystem, für welches es eine JVM⁷ gibt. Er ist frei verfügbar, weit verbreitet und unterstützt.

Servlets werden gleichzeitig zur Auslagerung von wiederverwendbarer Programmlogik für asynchrone Ressourcen-Anforderungen (z.B. Bilder, Sound für die virtuellen Geräte) genutzt.

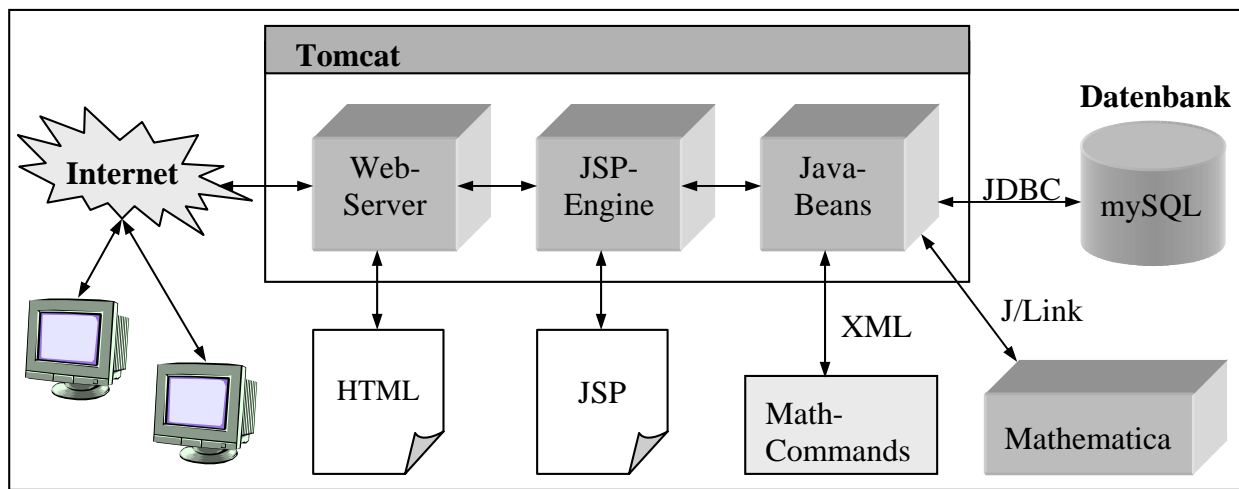


Abbildung 5.2 Gesamtüberblick über die Systemarchitektur der Lernumgebung vPSM

- Java-Beans: Die Java-Beans⁸ gestatten die Kapselung von Programmlogik und die Anbindung weiterer Komponenten (Datenbank, Mathematica), die über eine Java-Schnittstelle (JDBC⁹, J/Link) angesprochen werden können. Sie stellen die zentrale Steuereinheit der Anwendungslogik dar (vgl. MVC-Modell Kapitel 5.1).
- Datenbank: Die mySQL-Datenbank mit der Anbindung über JDBC hat die Funktion, alle persistenten Daten wie: Nutzerdaten, -rechte und -rollen, Signaldaten, Aufgaben und Nutzerergebnisse zu speichern und zu verwalten.

⁴ JSPs können sowohl dynamischen Inhalt als auch statischen Inhalt in einer Seite vermischen.

⁵ Java Servlets sind serverseitige Java-Programme, die nach einem Request-Response-Schema arbeiten. Innerhalb der Verarbeitung von Requests kann beliebiger Java-Code ausgeführt und so auch auf Ressourcen wie z.B. Datenbanken zurückgegriffen werden.

⁶ Tomcat ist die Referenzimplementierung für eine Servlet-Engine von Sun Microsystems und wird im Jakarta Tomcat-Projekt weiterentwickelt.

⁷ JVM – Java Virtual Machine

⁸ Ein Java-Bean ist eine Java-Klasse, die als Container zur Datenübertragung verwendet wird.

⁹ JDBC – Java Database Connectivity

- Mathematik-Tool: Das professionelle Computer-Algebra-System Mathematica in der Version 5.0 von Wolfram Research¹⁰ wird über die Anbindung mittels J/Link zur Berechnung von Grafiken, Sounddateien, numerischen Ergebnissen und Simulationen herangezogen. Zur besseren Handhabbarkeit und zur Umsetzung des MVC-Prinzips wurde eigens eine XML-Schnittstelle mit zugehörigem Prozessor (MathWrapper) entwickelt.

Jede verwendete Komponente, wie der Apache Tomcat, das Mathematica oder die Datenbank, kann im Hinblick auf Skalierung auf einem anderen Server betrieben werden.

5.2.2 Web-Frontend

Mit Web-Frontend wird der Teil einer Internet-Anwendung bezeichnet, der für den Benutzer über seinen Internet-Browser sichtbar ist und der interaktive Eingaben sowie die Anzeige von Daten ermöglicht. Im Gegensatz zu klassischen Client-Programmen, sind keine Installationen auf dem Client PC notwendig und die Kommunikation mit dem Server erfolgt über das Protokoll HTTP bzw. HTTPS. Der Internet-Browser gestattet die Präsentation verschiedener Dokumenttypen bzw. Komponenten (Text, Bild, Video, Audio).

Elemente

- Im Web-Frontend des vPSM werden statische HTML-Seiten zur Darstellung unveränderlicher Informationen wie Einführungs- und Hilfetexte dargestellt. Sie können über Hypertext- bzw. Hypermediastrukturen miteinander verknüpft sein.
- Dynamische HTML-Seiten, die mit Hilfe von JSPs erzeugt werden, sind für alle veränderlichen und nutzerabhängigen Daten verantwortlich (z.B. Aufgabenseiten). Sie gestatten in der Regel die unterschiedlichsten Interaktionsmöglichkeiten (vgl. Kapitel 4.3).
- Applets werden zur Soundwiedergabe bzw. für Animationen und einfache Simulationen herangezogen (z.B. Applet zur Fourier-Synthese). Dies setzt eine Java-Runtime ab der Version 1.3 voraus.
- Mit JavaScript werden Funktionen, die nur Clientseitig arbeiten, realisiert (z.B. Testroutinen zur Eingabekontrolle).

Aufbau

Die Lernumgebung besteht aus einem Frame-Set mit 4 Frames: Kopf- und Fußzeile, Menü und Arbeitsbereich (vgl. Abbildung 4.5). Dies wird ausführlich im Kapitel 4.3.1 beschrieben. Ein

¹⁰ <http://www.wolfram.com> (letzter Zugriff: 10.08.2005)

Vorteil ist, dass jeweils nur der Frame aktualisiert, d.h. geladen, werden muss, der neue Daten aufgrund einer Refresh-Anforderung anzeigt. Für die virtuellen Geräte werden separate Pop-up-Fenster gestartet. Es ist jeweils nur ein virtuelles Gerät anzeigbar.

5.2.3 Programmsteuerung

Die Programmsteuerung übernehmen Java-Beans. Sie kapseln viele funktionale Anforderungen und stellen den JSP-Seiten die zur Anzeige notwendigen Daten aufbereitet zur Verfügung. Beispielsweise seien hier die zentralen Beans erwähnt:

- *PsmUser*: Anmeldung, Autorisierung, Rollenkonzept, Sessionverwaltung
- *PsmUserSignalManager*: Signaldaten des Nutzers
- *TaskAssemblyManager*: Aufgaben und Antworten des Nutzers
- *DBManager*: Anbindung Datenbank
- *MathWrapper* und *SignalAnalyzerServlet*: Anbindung Mathematica

Die Verwendung der Java-Beans in Zusammenspiel mit den JSP-Seiten und der Integration der Datenbank und Mathematica wird im Kapitel 5.3 beschrieben.

5.2.4 Datenbank

Als Datenbank kommt MySQL in der Version 3.23.53 zum Einsatz. Dieses SQL-Datenbankverwaltungssystem steht als freie Software unter der GPL¹¹ zur Verfügung. Es gehört zu den am weitesten verbreiteten Open Source Programmen und ist somit gut unterstützt und für die gewünschten Zwecke völlig ausreichend. Da keine MySQL-proprietären-Funktionen verwendet wurden, kann auch eine andere relationale Datenbank eingesetzt werden. Statt der verwendeten SQL-Statements könnte als weitere Schicht ein O/R-Mapping-Tool eingesetzt werden.

Für die Erstellung der Datenbank sind SQL-Skripte vorhanden. Diese sind aufgeteilt in Schema-Erstellungs- und Daten-Skripte. Beispiele zum konkreten Einsatz der Datenbank, zu Datenstrukturen und zur Datenverwaltung werden im Kapitel 5.3.2 und 5.3.4 beschrieben.

Für einen Dauerbetrieb wären noch weitere Wartungs-Skripte erforderlich, die Funktionen wie Sicherung, Auswertung und Bereinigung der Daten übernehmen.

¹¹ General Public License

5.3 Kernmodule

Zur Umsetzung der im Kapitel 4 beschriebenen Funktionalität der Lernumgebung vPSM werden wie bereits erwähnt neben den üblichen Webtechnologien das Computer-Algebra-System Mathematica und eine Datenbank eingesetzt. Das Zusammenspiel der Komponenten wird in der Abbildung 5.3 dargestellt. Wie die Integration von Mathematica und der Datenbank erfolgt und welche Aufgaben diese Komponenten übernehmen, ist Thema dieses Kapitels.

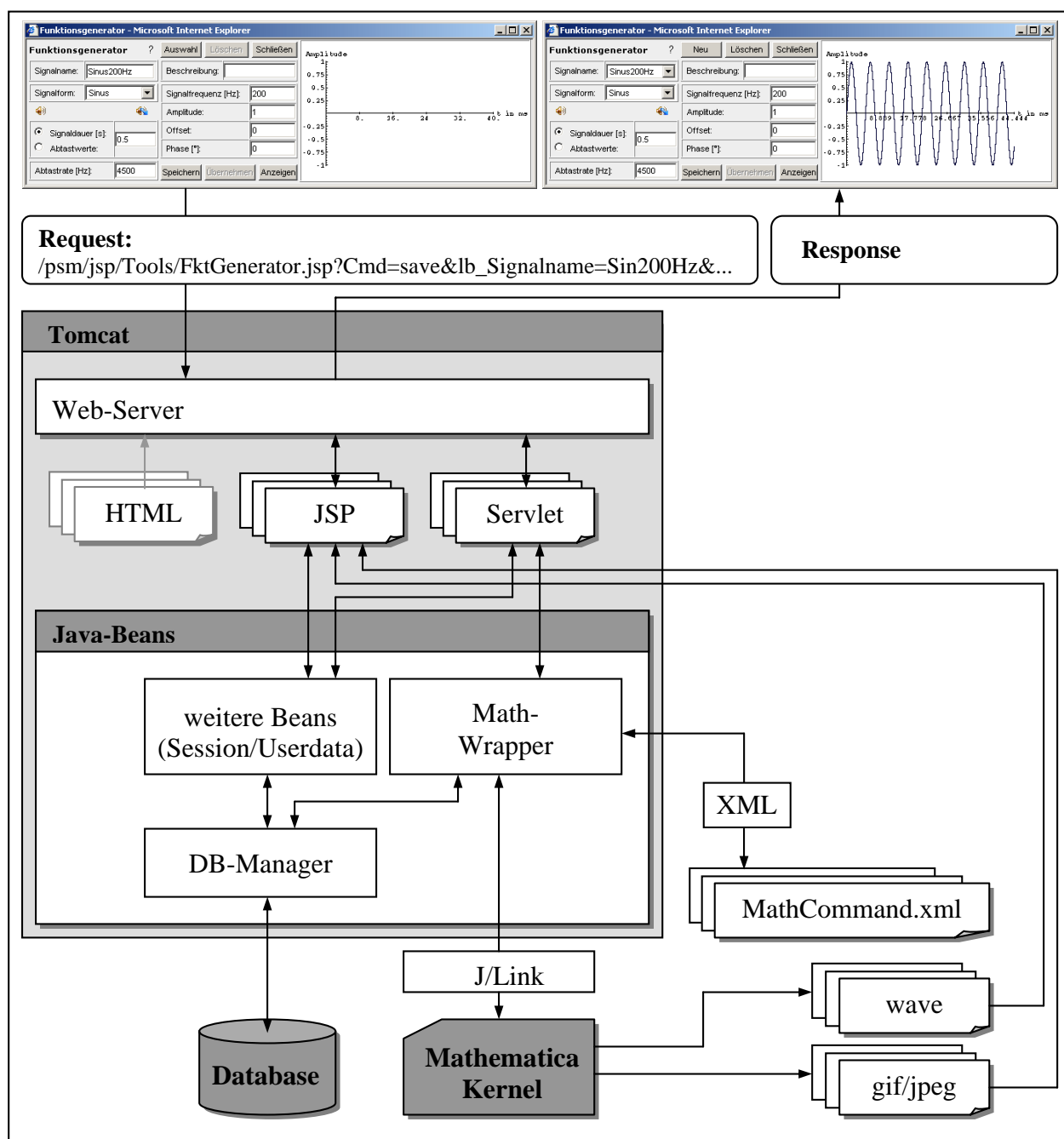


Abbildung 5.3 Schematische Darstellung der Anbindung von Mathematica und der Datenbank

5.3.1 Integration von Mathematica

Das Computer-Algebra-System Mathematica wird für die Umsetzung der mathematischen Funktionen und bei der Erzeugung der Objekte zur Datenvisualisierung eingesetzt. Es erfüllt im wesentlichen alle im Kapitel 3.2 aufgestellten Kriterien zum Einsatz eines Computer-Algebra-Systems für vPSM. Darüber hinaus existieren am Fachbereich langjährige Erfahrungen (seit Beginn der 90er Jahre) bei der Arbeit mit Mathematica und es wurden bislang zahlreiche Lehrmaterialien erarbeitet.

Das Softwaresystem Mathematica besteht aus zwei Hauptkomponenten: dem Rechenkern und der Benutzeroberfläche. Der Kern enthält die eigentlichen Funktionen und ist für alle numerischen und symbolischen Berechnungen zuständig.

Die Benutzeroberfläche, als „Notebook-Interface“ bezeichnet, verarbeitet vollständig interaktive Dokumente (Mathematica-Notebooks) auf der Basis einer 4GL-Programmiersprache mit Textverarbeitung, Berechnungen, Simulationen usw.. Sie ist für die Nutzereingaben zuständig, d.h. die Eingaben zu formatieren, an den Kern weiterzuleiten und die resultierenden Ausgaben zu präsentieren.

Um Mathematica in Zusammenhang mit einer Webapplikation nutzen zu können, gibt es zwei Möglichkeiten:

- die webMathematica-Technologie durch Verwendung der JSP-Tag-Library oder von Mathematica Server Pages (MSPs) bzw.
- die Java-API „J/Link“.

webMathematica

WebMathematica verknüpft Mathematica mit dem Internet, in dem es auf die Java Webtechnologie mit Java Servlets und Java Server Pages aufbaut. Mit webMathematica können Inhalte verschiedenster Formate (z.B. HTML, die gängigsten Grafikformate, Mathematica Notebooks, MathML, PostScript und PDF) erzeugt und in einer Webseite integriert werden. Die Verwendung von Mathematica bleibt für den Webnutzer völlig verdeckt. Es stehen sämtliche Funktionen und Eigenschaften von Mathematica zur Verfügung.

Beispielhaft wurde die Anzeige des Datums und der Uhrzeit in einer Webseite einmal mit den JSP Custom Tags (Beispiel 5.1) und einmal in einer MSP (Beispiel 5.2) realisiert. Weitere Beispiele und Informationen zur Technologie von webMathematica sind bei Wolfram Research unter [WebMathematica] zu finden.

Beispiel 5.1 WebMathematica mit Java Server Pages

```

<%@ taglib uri="/webMathematica-taglib" prefix="msp" %>      Standard-JSP-Header
<html>
  <head>
    <title>Hello World (JSP)</title>
  </head>
  <body>
    <h1>Hello World: JSP</h1>
    <msp:allocateKernel>                                     Startet den Mathematica Kernel
      Date[]
      <msp:evaluate>
        Date::usage                                         Mathematica-Funktion: liefert eine Beschrei-
                                                             bung, wie die Funktion Date[] zu benutzen ist
      </msp:evaluate>
      <p>Das aktuelle Datum ist:</p>
      <msp:evaluate>
        Date[]                                              Mathematica-Funktion: liefert das aktuelle
                                                             Datum und die Uhrzeit
      </msp:evaluate>
      </msp:allocateKernel>                                gibt den Mathematica Kernel frei
    </body>
  </html>

```

Beispiel 5.2 WebMathematica mit Mathematica Server Pages

```

<html>
  <head>
    <title>Hello World (MSP)</title>
  </head>
  <body>
    <h1>Hello World: MSP</h1>
    Date[]
    <%Mathlet Date::usage%>                                Mathematica-Funktion
    <p>Das aktuelle Datum ist:</p>
    <%Mathlet Date[]%>                                     Mathematica-Funktion
  </body>
</html>

```

Beim Betrachten dieser Beispiele, wird schnell klar, dass die JSP-Tag-Library bzw. die MSPs ungeeignet für die Entwicklung von vPSM waren. Die Gründe dafür sind:

- Es kommt zur Vermischung von HTML-Generierung und Programmlogik.
- Es ist kaum möglich bzw. sehr schwer schwierig Mathematika-Code (Tags) wieder zu verwenden.
- Bei einer Modularisierung (Includes, Tiles) von JSP-Seiten wäre eine "breite Schnittstelle" notwendig.
- Der Code wird schlecht wart- und erweiterbar.
- Es ist keine separate Entwicklung und Testung des Mathematica-Codes möglich, da immer ein Webserver vorhanden sein muss.
- Zwischenergebnisse können nicht gespeichert werden.

- Bei den MSPs ist jede Berechnung eine in sich geschlossene Anfrage: Kernel öffnen, Berechnung durchführen, Ergebnis zurückschicken, Kernel freigeben. Eine Abarbeitung, wie sie in vPSM erforderlich ist, mit mehreren Aufrufen würde aus Performance- und Handhabbarkeitsgründen nicht praktikabel sein, da das Kernel-Management eine nicht unerhebliche Verzögerung darstellt.

J/Link

Anhand des mitgelieferten Mathematica-Java Kommunikationsprotokolls J/Link und der eingebundenen Java Laufzeitumgebung können:

- 1.) alle Standard-Java-Bibliotheken von Mathematica aus angesprochen und
- 2.) der Mathematica Kernel und das Mathematica FrontEnd von einem Java Programm aus aufgerufen werden.

Die zweite Funktionalität gestattet die vollständige Integration der Mathematica-Funktionalität über eine Java-Schnittstelle in eine Webanwendung. Sie wird in dieser Form in der Anwendung vPSM eingesetzt.

Über die Java-API ist man in der Lage, die volle Kontrolle über Mathematica unabhängig vom Oberflächencode zu halten. Damit kann man Zwischenergebnisse von Mathematica (z.B. Signaldaten) in einer Datenbank speichern und diese Daten anschließend in Mathematica weiterverarbeiten (Berechnung der Bild- und Sounddaten, vgl. Kapitel 5.3.3). Durch das Speichern von Zwischenergebnissen werden Mathematica-Aufrufe reduziert, da bereits durchgeführte Teilberechnungen nicht nochmals durchgeführt werden müssen, wie es sonst bei einem typischen Request-Response-Zyklus notwendig wäre.

Innerhalb einer gesamten Websession ist es möglich einen einzigen Mathematica-Kernel zu nutzen. Bei vielen parallelen Anfragen, wenn z.B. mehrere Nutzer gleichzeitig arbeiten, organisiert und kontrolliert das Kernel-Management den Kernel Pool, der es gestattet, mehrere Kernel¹² parallel zu starten. Prinzipiell reicht ein Kernel aus, da eine „quasiparallele“ Abarbeitung der Anfragen durch das Erzeugen mehrerer Prozesse möglich ist.

MathWrapper

J/Link bietet neben dem Aufruf von vorhandenen parametrisierbaren Funktionen u.a. die Möglichkeit, umfangreichen selbstgeschriebenen Mathematica-Code dem Kernel zu übergeben und liefert das Ergebnis im gewünschten Datentyp (Text, Bild, Sound) zurück. Dieser Mathematica-Code ist als statischer Code-Block zu betrachten. Parameterwerte, die anhand von Nutzereingaben, Berechnungen oder Datenbankwerten erst festgelegt werden (z.B. Frequenz und

¹² Die Anzahl der verfügbaren Kernel ist lizenzabhängig.

Amplitude) müssen vor dem Aufruf von Mathematica in den Code-Block eingefügt werden. Dies bedeutet, dass der Code-Block Platzhalter für die variablen Werte enthalten muss (Code-Template). Die Pflege und Verwaltung der Code-Templates sollte außerhalb der Java-Dateien in einer separaten Datei erfolgen. Weiterhin ist die Definition des Ergebnistyps (Bild, Zahlenwert) erforderlich und die Festlegung von Default-Parametern wünschenswert. Ziel sollte es sein, die Webapplikation völlig frei von Mathematica-Code zu halten. Somit erhält man eine generische Schnittstelle. Sie erlaubt die Entwicklung und den Test des Mathematica-Codes unabhängig von der Webapplikation. Der XML-Standard ist für diese Aufgabe sehr gut geeignet. In diesem Zusammenhang wurde eine allgemeine XML-Schnittstelle entwickelt, die vollständig das Verhalten der Mathematica-Aufrufe definiert.

In der XML-Datei „MathCommand.xml“ werden sogenannte Mathematica-Kommandos entsprechend dem Beispiel 5.3 definiert, die im wesentlichen aus:

- einer Kommandodefinition mit Funktionsnamen (Plot3Sinus),
- dem Type des Rückgabewert (filepath),
- dem Format des Rückgabewertes (gif),
- dem Parameterblock mit Standardwerten
(`<Parameter default="1"><![CDATA[%koef1%]]></Parameter>`) und
- dem eigentlichen Mathematica-Code (`<MathCode><![CDATA[Plot [...]]></MathCode>`) bestehen.

Beispiel 5.3 Beispiel eines Mathematica-Kommandos in der MathCommand.xml

```
<MathCommands>
  <MathCommand name="Plot3Sinus" returntype="filepath" returnproperty="gif">
    <Parameter default="1"><![CDATA[%koef1%]]></Parameter>
    <Parameter default="2"><![CDATA[%koef2%]]></Parameter>
    <Parameter default="3"><![CDATA[%koef3%]]></Parameter>
    <MathCode>
      <![CDATA[
        Plot[{Sin[%koef1%x],Sin[%koef2%x], Sin[%koef3%x]},{x, 0, Pi},
          PlotStyle->{ {Thickness[0.01], RGBColor[1,0,0]},
                      {Thickness[0.01], RGBColor[0,1,0]},
                      {Thickness[0.01], RGBColor[0,0,1]} }
        ]
      ]>
    </MathCode>
  </MathCommand>
</MathCommands>
```

Der Aufbau der XML-Datei ist über die Document Type Definition "MathCommands.dtd" (vgl. Beispiel 5.4) definiert und abgesichert.

Beispiel 5.4 Die DTD MathCommand.dtd

```

<?xml version="1.0" encoding="iso-8859-1"?>
<!ELEMENT MathCommands (MathCommand+)>
<!ELEMENT MathCommand (Parameter*, MathCode)>
<!--
  !ATTLIST MathCommand
    name ID #REQUIRED
    returntype (filepath | value) #REQUIRED
    returnproperty (gif | jpeg | string | int) #REQUIRED
-->
<!ELEMENT Parameter (#PCDATA)>
<!--
  !ATTLIST Parameter
    default CDATA #REQUIRED
-->
<!ELEMENT MathCode (#PCDATA)>

```

Das Java-Bean "MathWrapper" arbeitet nach dem in Abbildung 5.4 dargestellten Schema: Der "MathWrapper" liest die komplette XML-Datei ein und stellt eine generische Schnittstelle zum Aufruf der Funktionen zur Verfügung. Innerhalb der Java-Umgebung müssen nur noch die Parameter aufbereitet werden, wie es im Beispiel 5.5 auszugsweise dargestellt wird.

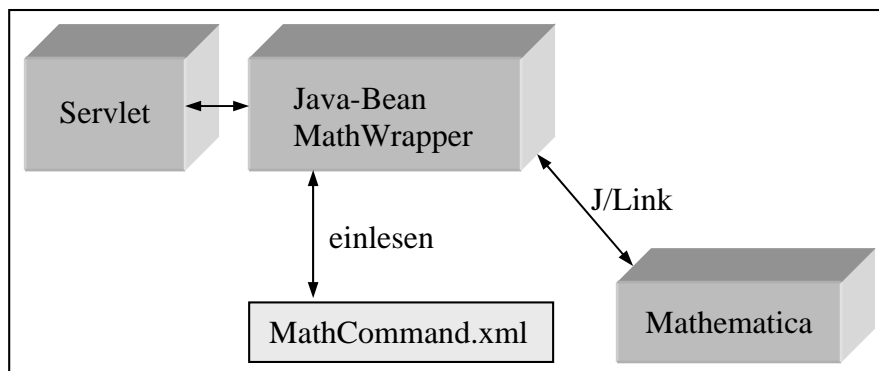


Abbildung 5.4
Das JavaBean
"MathWrapper"

Beispiel 5.5 MathWrapper-Aufruf aus der JSP-Seite

```

MathWrapper wrapper = ...;
...
String [] cmdParams = new String[1];
cmdParams[0] = "5";
String ret = wrapper.computeCommand("Plot3Sinus", cmdParams);
...
out.write("<img src=\"<%=ret%>\">");

```

Die MathWrapper-Funktion `computeCommand` nimmt die Parameterersetzung im Mathematica-Code vor, d.h. im Beispiel 5.3 bekommt `koef1` den Wert 5 und für die Parameter 2 und 3 werden die Defaultwerte verwendet. Anschließend wird über J/Link dem Kernel der Mathematica-Code zur Ausführung übergeben. Als Rückgabe bekommt man in diesem Fall,

bestimmt durch die `returnproperty="gif"` die Binärdaten des Bildes. Dieses wird im vPSM-Arbeitsverzeichnis des Nutzers als gif-Datei gespeichert. Letztendlich gibt die MathWrapper-Funktion den Namen der Bild-Datei in den `ret`-Wert zurück. Dieser kann in einer JSP-Seite mit einem ``-Tag (vgl. Beispiel 5.5) verwendet werden.

Mathematica-Pakete

Mathematica als erweiterbares System, gestattet es, zu den standardmäßig bereits integrierten mathematischen und anderen Funktionen durch das Einlesen von Paketen (Packages, Bibliotheken) weitere hinzuzufügen. Mathematica-Pakete¹³ sind Dateien (*.m), die in der Mathematica-Programmiersprache unter Berücksichtigung spezieller Konventionen, geschrieben sind. Neben der Nutzung vorhandener Pakete können leicht eigene erstellt werden. Das Einlesen zusätzlicher Pakete geschieht z.B. mit:

```
Needs["Graphics`MultipleListPlot`"];
```

Die Definitionen und Funktionen werden direkt in den Mathematica-Kernel geladen.

Zusammenfassung

Mit der oben beschriebenen Technik des MathWrappers, der festgelegten XML-Schnittstelle und der Nutzung von Mathematica und der Mathematica-Pakete verbinden sich folgende Vorteile:

- Die für vPSM erstellten, eigenen Pakete (PsmFunctions.m, PsmAudio.m, PsmFourier.m) enthalten umfangreiche mathematische Funktionen, die so elegant aus der MathCommand.xml ausgelagert werden können.
- Die Funktionen der Pakete können einfach wiederverwendet werden, sowohl beim Aufruf aus Mathematica-Notebooks unter der Benutzeroberfläche als auch beim Aufruf aus der JSP-Seite (bzw. der MathCommand.xml), da sie direkt in den Kernel geladen werden. So können für vPSM geschriebene Funktionen anderweitig (z.B. für Vorlesung/Übung) wiederverwendet bzw. bereits erstellte Funktionen integriert werden.
- Die in der Mathematica-Programmiersprache notwendigen Algorithmen und Funktionen lassen sich unabhängig von der Weboberfläche in der Benutzeroberfläche von Mathematica entwickeln und testen. Die integrierte Hilfe und die Fehlermeldungsfunktionen sind dabei ein wertvolles Werkzeug. Anschließend müssen nur noch die Parameter nach „außen“ gelegt werden und der Code in der xml-Datei gespeichert werden.
- Bei der Programmentwicklung lassen sich die Aufgaben aufgrund der Modularität und der einfachen Schnittstellen (z.B. MathCommand.xml für die Entwicklung der Mathematica-

¹³ Es werden eine Reihe von Zusatzpaketen mit Erweiterungen und Anpassungen von Wolfram Research für spezifische Anwendungsbereiche angeboten, z.B. Signals and Systems, Neural Networks, Wavelet Explorer.

Funktionen) leicht auftrennen und es kann verteilt entwickelt werden. Die Entwickler müssen sich nicht in allen Technologien gleichzeitig auskennen. Das MVC-Model wird umgesetzt.

- Der Java-seitige Programmieraufwand in der JSP-Seite (bezüglich Mathematica-Code) konnte auf die Parameterrückgabe- und die Parameterübergabe für die `computeCommand()`-Funktion reduziert werden.
- Die Integration eines weiteren (Mathematik)-Softwaretools wäre auf der Basis der Schnittstelle leicht möglich.

Zu Testzwecken für die Entwicklungsphase gibt es eine Testseite, die alle Mathematica-Kommandos der XML-Datei zur Verfügung stellt. In ihr können die Funktionen ausgewählt, die notwendigen Parameter eingegeben und die einzelnen Funktionen ausgeführt werden. Die Ergebnisse aus den Berechnungen werden anschließend in der Testseite angezeigt. Gerade in der Entwicklungsphase ist es sehr von Vorteil, wenn man neu erstellte Funktionen schnell wiederholt testen kann, ohne sich erst durch mehrere Webseiten hangeln zu müssen.

Ein Aspekt der bisher völlig unberücksichtigt geblieben ist, ist, dass ein Großteil der für die mathematischen Berechnungen notwendigen Parameter aus der Datenbank geholt bzw. die Ergebnisse in ihr abgelegt werden (z.B. alle generierten Signale sind als Parametersatz in der Datenbank abgelegt). Auf diesen Aspekt soll im folgenden Kapitel eingegangen werden.

5.3.2 Datenstrukturen und -verwaltung

Um die Organisation eines Praktikums mit den unterschiedlichsten Informationen bezüglich Aufgaben, Nutzern, Ergebnissen usw. unter der Lernumgebung vPSM organisieren und durchführen zu können, ist neben der Aufbereitung und Bereitstellung von fachlichen Inhalten, Aufgaben und Experimentierumgebungen ein Datenmanagement notwendig. Dies wird durch die Einbindung einer Datenbank realisiert, die die Nutzerdaten, -rechte und -rollen, Signaldaten, Aufgaben und Nutzerergebnisse speichert und verwaltet.

Nutzerverwaltung

Die Nutzerverwaltung ist der zentrale Bestandteil der Datenbank. Mit ihr werden die Authentifizierung, Autorisierung und das zugehörige einfache Rollenkonzept abgedeckt. Mit der Vergabe der entsprechenden Nutzerrollen sind fest definierte Zugriffs- und Aktionsrechte verbunden, d.h. es werden nur bestimmte Seiteninhalte bzw. Links sichtbar bzw. es dürfen nur ausgewählte Aktionen (z.B. Signaldaten importieren) durchgeführt werden. Jedem Nutzer kann

eine Rolle zugeteilt werden. Für die Lernumgebung vPSM wurden die folgenden Rollen und in diesem Zusammenhang die nachfolgend beschriebenen Rechte und Funktionen festgelegt.

[guest] - Gast

Beim Starten der Lernumgebung vPSM erhält man automatisch den Status *Gast*. Mit der Rolle des Gastes sind Zugriffsrechte auf folgende Inhalte verbunden:

- Konzeption mit der Beschreibung der Programminhalte, der Strukturierung der Lernumgebung, der Lern- und Einsatzziele (Selbststudium, Praktikum, Lehrveranstaltungen) und der Zielgruppe,
- Informationsseiten (Lerneinheiten, Tutorials, interaktive Experimentierumgebungen), Inhaltsverzeichnis, Glossar, Literatur- und Linkverzeichnis, Hilfebeschreibung (System, Inhalt).

Alle weiteren Nutzerrollen werden bei der Anmeldung über die Login-Funktion anhand der eingetragenen UserId¹⁴ und der in der Datendank festgelegten Rolle automatisch zugewiesen. Alle Rechte und Sichtbarkeiten des Gastes sind auch bei den folgenden Nutzerrollen verfügbar.

[preparation] - Nutzer, der die Aufgaben zur Praktikumsvorbereitung zu bearbeiten hat

Die Nutzerrolle zur Praktikumsvorbereitung erlaubt den Zugriff auf die Vorbereitungsaufgaben und auf die Service-Seite. Dieser Zugriff lässt sich mit einer zeitlichen Limitierung versehen, um die Bearbeitung der Aufgaben bis zum Praktikumstermin abzusichern und die Abstimmung für die Kontrolle durch den Betreuer zu ermöglichen.

[execution] - Nutzer, der die Praktikumsaufgaben zu bearbeiten hat

Die Nutzerrolle zur Praktikumsdurchführung erlaubt den Zugriff auf die Praktikumsaufgaben und auf die Service-Seite. Auch dieser Zugriff lässt sich zeitlich limitieren.

[task_author] - Aufgabenautor

Die Seiten des Aufgabenautors dienen der Erstellung neuer Aufgabeneinheiten und der Zusammenstellung von Aufgaben-Sets. Dazu werden dem Aufgabenautor alle bisher erstellten Aufgaben zur Ansicht zur Verfügung gestellt. Auf eigene Aufgaben hat er Lese-, Änderungs- und Schreibrechte. Fremderstellte Teilaufgaben können in eigenen Aufgaben-Sets verwendet werden. Weiterhin ist der Aufgabenautor berechtigt, Eintragungen in die Informationsverzeichnisse (z.B. Glossar) vorzunehmen.

[tutor] - Praktikumsbetreuer

Der Praktikumsbetreuer hat Zugriff auf die Nutzerverwaltung der Praktikumsdurchführenden. Er kann neue Praktikanten als Nutzer anmelden (Vergabe der UserId, des Pass-

¹⁴ UserId - Nutzer-Identifizierungsnummer. Sie dient zur eindeutigen Identifizierung des eingetragenen Nutzers.

wortes, der Rolle: preparation oder execution und der Zugriffszeiten), die Aufgaben für die Praktikanten zusammenstellen und die Ergebnisse einsehen.

[develop] - Entwickler

Für den Entwickler stehen innerhalb der Applikation verschiedene Schnittstellen zur Verfügung, die zur Erweiterung der Lernumgebung dienen. Neben den Seiten mit fachlichen Inhalten können funktionelle Komponenten hinzugefügt oder erweitert werden. Das betrifft vor allem die Konzeption und Implementierung weiterer virtueller Geräte, Experimentierumgebungen, Tutorials, mathematische Funktionen, Komponenten zu den Informationssammlungen usw.. So wurde z.B. speziell zum Testen der Mathematica-Funktionen eine Testumgebung (TestMathCommands) entwickelt, auf die Entwickler zugreifen können.

[admin] - Administrator

Die Aufgabe des Administrators besteht hauptsächlich in der Festlegung der Nutzerdaten- und Rollenverwaltung. Vom Administrator können also Nutzer (mit allen ihren Eigenschaften und Rechten) angelegt, bearbeitet und gelöscht werden.

Signaldaten

Auch die verwendeten Signaldaten werden in der Datenbank gespeichert und verwaltet. Es gibt bisher 2 Arten von Signaldaten. Diese sind abhängig von der Datenquelle. Es gibt intern erzeugte (z.B. mit dem Funktionsgenerator) und extern bereitgestellte (gemessene oder anderweitig erworbene, die mittels der Import-Funktion eingelesen werden können) Signaldaten.

Bei den aktuell verfügbaren Signaldaten handelt es sich um Zeitsignale. Im Datensatz eines Zeitsignals werden sowohl die Samples als eindimensionales Feld (DATALIST) als auch zugehörige Metadaten, wie z.B. Tasterfrequenz, Amplitude und Offset (vgl. Abbildung 5.5) abgelegt.

Alle mathematischen Operationen arbeiten mit den Samples. Dadurch ist es möglich, intern und extern gewonnene Signale und deren Zwischenergebnisse miteinander zu verknüpfen (z.B. im Signalanalyser mittels mathematischer Operationen).

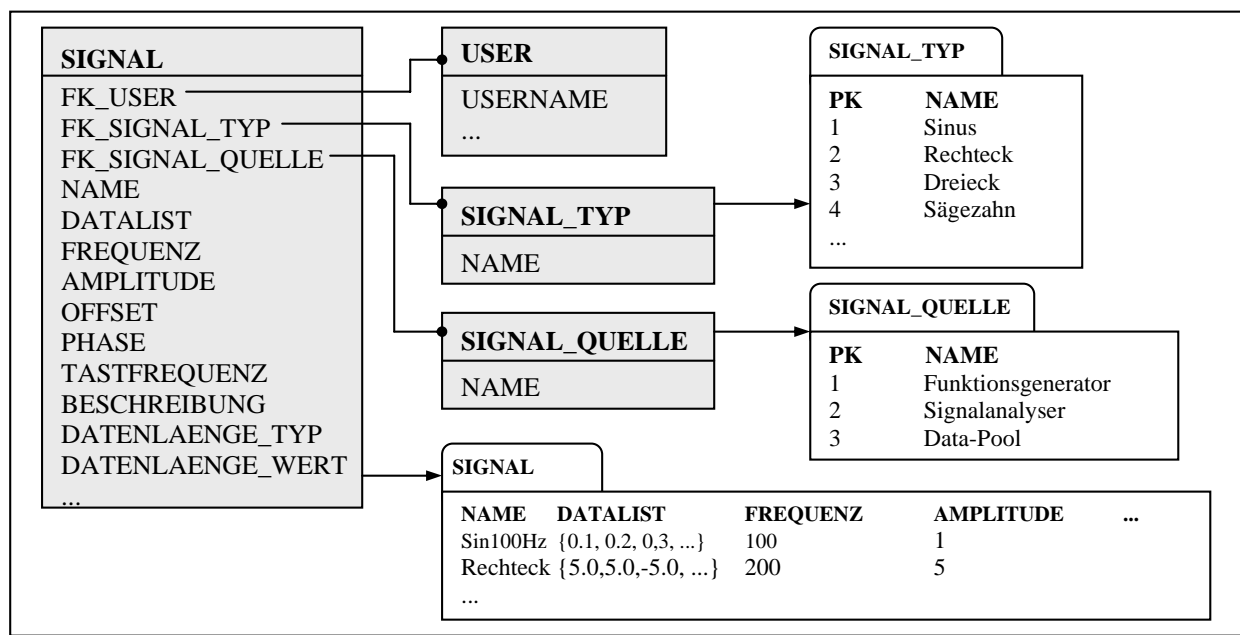


Abbildung 5.5 Schema der Signaldaten-Tabellen mit Beispielen

Aufgabenverwaltung

Für die Aufgabeverwaltung spielen 7 Tabellen eine Rolle, die wie in der Abbildung 5.6 gezeigt in Beziehung zueinander stehen.

[Assembly] - Aufgaben-Set

Oberstes Element ist ein Task-Assembly – ein Aufgaben-Set. In einem Aufgaben-Set sind einzelne Aufgabeneinheiten (SubTask) unter dem Fokus einer übergeordneten Aufgabenstellung organisiert.

[Category] - Kategorie/Thema

Eine Kategorie ist eine themenbezogene Strukturierung von Aufgaben-Sets, wie z.B. „Grundlagen“, „Abtastung“, „Fourier“ und „Aliasing“.

[SubTask] - Aufgabeneinheit

Eine SubTask ist eine atomare Aufgabeneinheit. Sie besteht aus einem Beschreibungstext (Kurzthema), einem Aufgaben- bzw. Fragentext, einem Bild (optional), einer Liste zugeordneter virtueller Geräte¹⁵, Handlungsanweisungen und der Definition der Ergebnisse (Ergebnistyp, Anzahl Ergebniswerte).

[Device] - virtuelle Geräte

Diese Tabelle enthält alle verfügbaren virtuellen Geräte.

¹⁵ Hier werden nur die virtuellen Geräte angegeben, die für die Bearbeitung der Aufgabe benötigt werden.

[ResultDef] – Ergebnis-Definition

Mit der Ergebnisdefinition wird die Liste der Ergebnisse einer Aufgabe definiert. Eine Aufgabeneinheit kann mehrere Ergebnisse haben, die verschiedenen Typs sein können. Die sequence ist die Identifizierung eines Ergebnisses (UserResult) innerhalb einer Aufgabeneinheit (SubTask).

[ResultType] – Ergebnistyp-Definition

Mit der Ergebnistyp-Definition wird festgelegt, welche Datentypen für die Ergebnisse möglich sind (einzeiliger Text, mehrzeiliger Text, Name eines ausgewählten Signals des Nutzers). Sie bestimmt auch, welche Eingabe- bzw. Interaktionselemente am User-Frontend bereitzustellen sind.

[UserResult] – Ergebnis

Nimmt alle Ergebnisse der Nutzer auf. Zur eindeutigen Identifizierung eines Nutzerergebnisses ist die Beziehung zu dem Assembly, zu einer SubTask zu einer ResultDef und zum Nutzer (PsmUser) notwendig.

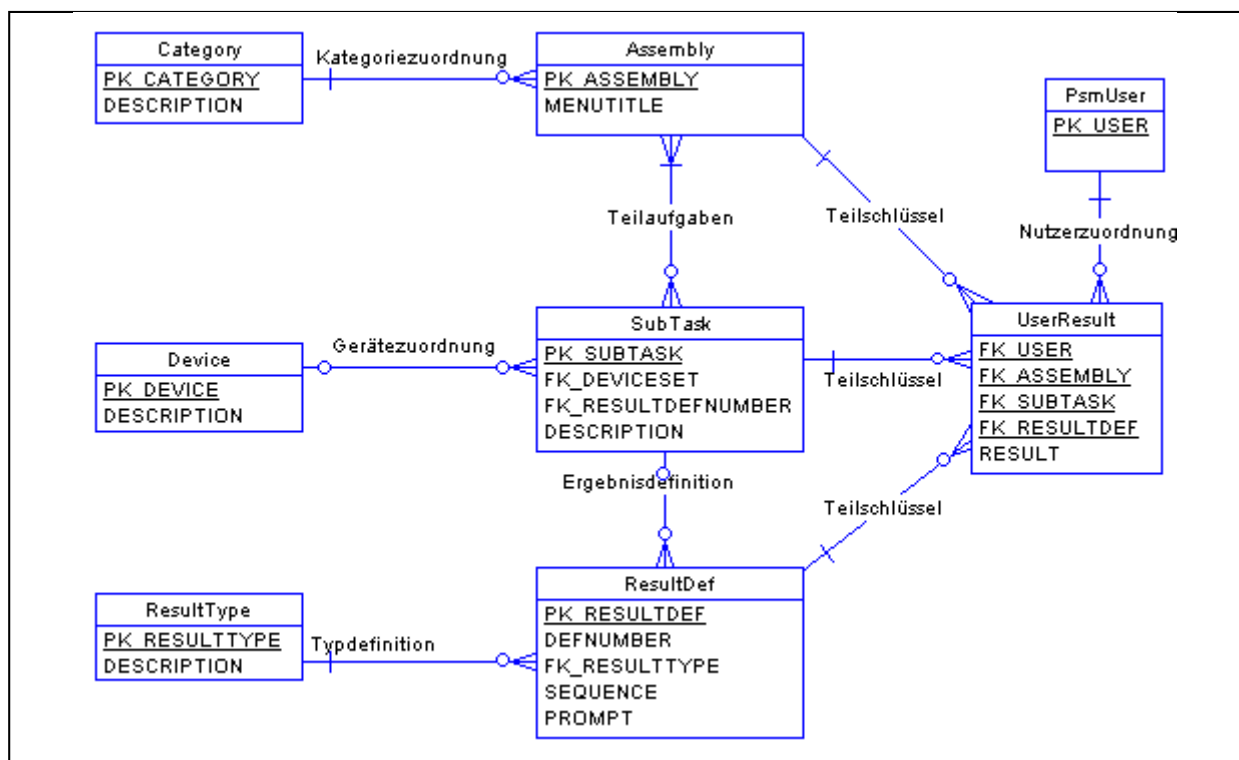


Abbildung 5.6 Übersicht der logischen Verknüpfung der Aufgabentabellen

Daten der Verzeichnisse und Übersichten

Für die Organisation und Bereitstellung der Inhalte für die Informationssammlungen wurde eine einfache einheitliche Tabellenstruktur genutzt. So können die Datensätze (z.B. die Begriffsdefinitionen aus dem Glossar) sowohl einzeln z.B. durch einen Hypertext-Link aktiviert in einem Popup-Fenster als auch komplett in einer Informationsübersicht dargestellt werden. Die Erweiterung und Pflege erfolgt im Augenblick über SQL-Skripte.

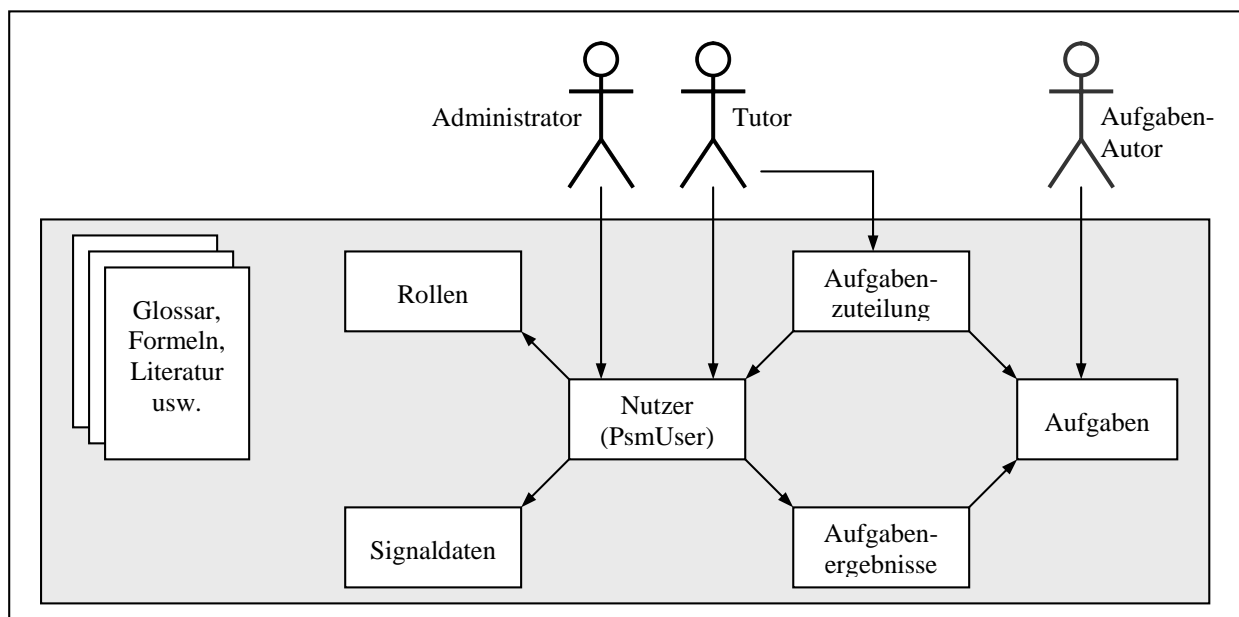


Abbildung 5.7 Schematische Darstellung der Datenbank-Tabellen

Zusammenfassung

Die beschriebenen Teilmodelle der Datenbank stehen in den in Abbildung 5.7 dargestellten Beziehungen zueinander und lassen die folgenden Funktionalitäten zu. So werden die Signaldaten in Verbindung zu einem registrierten Nutzer abgelegt. Der Tutor ist mit seinen Zugriffsmöglichkeiten auf die Nutzerverwaltung (eingeschränkt) und den Aufgabenpool in der Lage, die Organisation des Praktikums durchzuführen. Der Aufgabenautor ist für die Bereitstellung der Aufgabeneinheiten und der Aufgabensets verantwortlich. Der Nutzer, z.B. in der Rolle des Praktikumsvorbereitenden hat Zugriff auf die Vorbereitungsaufgaben und die zugehörigen Ergebnisdaten, die von ihm eingesehen, geändert und gespeichert werden können. In zukünftigen Entwicklungen lassen sich unter Verwendung der bisher bestehenden Datenbankstrukturen und -inhalte und bei Auswertung von Aktivitätsprotokollen Benutzerprofile erstellen, unterschiedliche automatische Auswertemechanismen anschließen oder kontextbezogene Hilfestellungen integrieren.

5.3.3 Dynamische Erzeugung der Bild- und Audiodaten

Am Beispiel der Signalgenerierung mit dem Funktionsgenerator (FG) soll in diesem Kapitel das Zusammenspiel der bisher beschriebenen Technologien dargelegt werden. Ausgangspunkt ist der aus einer JSP-Seite in einem Popup-Fenster bereitgestellte Funktionsgenerator (vgl. Abbildung 5.3). Ziel ist die Erzeugung eines neuen Signals aus nutzerdefinierten Signalparametern und die Bereitstellung der Signalgrafik und der Audiodatei im Funktionsgenerator-Frontend mittels Mathematica als Rendering-Engine. Auf die Bedienung des Funktionsgenerators¹⁶ soll in diesem Zusammenhang nicht eingegangen werden.

Die Signalparameter (Signalname, Signalfrequenz, Abtastfrequenz, Signaldauer usw.) sind in die entsprechenden Eingabefelder einzutragen. Beim Betätigen der Schaltfläche „Speichern“ wird nun der folgende Bearbeitungszyklus gestartet (vgl. Abbildung 5.8):

- Die Signalparameter werden bezüglich ihrer Gültigkeit in einer 2stufigen Testroutine geprüft. Die in Javascript realisierten Testfunktionen mittels Regular Expressions (vgl. Beispiel 5.6) überprüfen die Eingabewerte auf die Zulässigkeit der eingegebenen Zeichen. Weiterhin wurde für jeden Signalparameter ein sinnvoller Wertebereich festgelegt, dessen Einhaltung im zweiten Schritt getestet wird. Bei Fehleingaben erhält der Anwender eine Rückmeldung, die sowohl einen Hinweis auf das betreffende Eingabefeld als auch auf die Fehlerursache enthält.

Beispiel 5.6 Beispiel einer Prüfroutine mit Regular Expressions

```
function isGanzeZahl( str )
{
    var ret = false;
    reg = new RegExp('^[ ]*[\\-\\+]?[ ]*\\d+[ ]*$');
    ret = (reg.test(str));
    return( ret );
}
```

- Über die JavaScript-Funktion `submit()` wird nach erfolgreicher Überprüfung der Signalparameter ein „Request“ ausgelöst, d.h. der Browser sendet eine Anfrage an den Webserver (URL¹⁷ mit den URL-Parametern). Auf dem Webserver wird das FG-Servlet gestartet.
- Im FG-Servlet werden alle FG-Signaldatensätze des aktuellen Nutzers aus der Datenbank eingelesen.
- Nach der Aktualisieren der Signalparameter anhand der URL-Parameter und der Auswertung des Aktionparameters (`ActionCommand`) wird in die Save-Routine verzweigt.

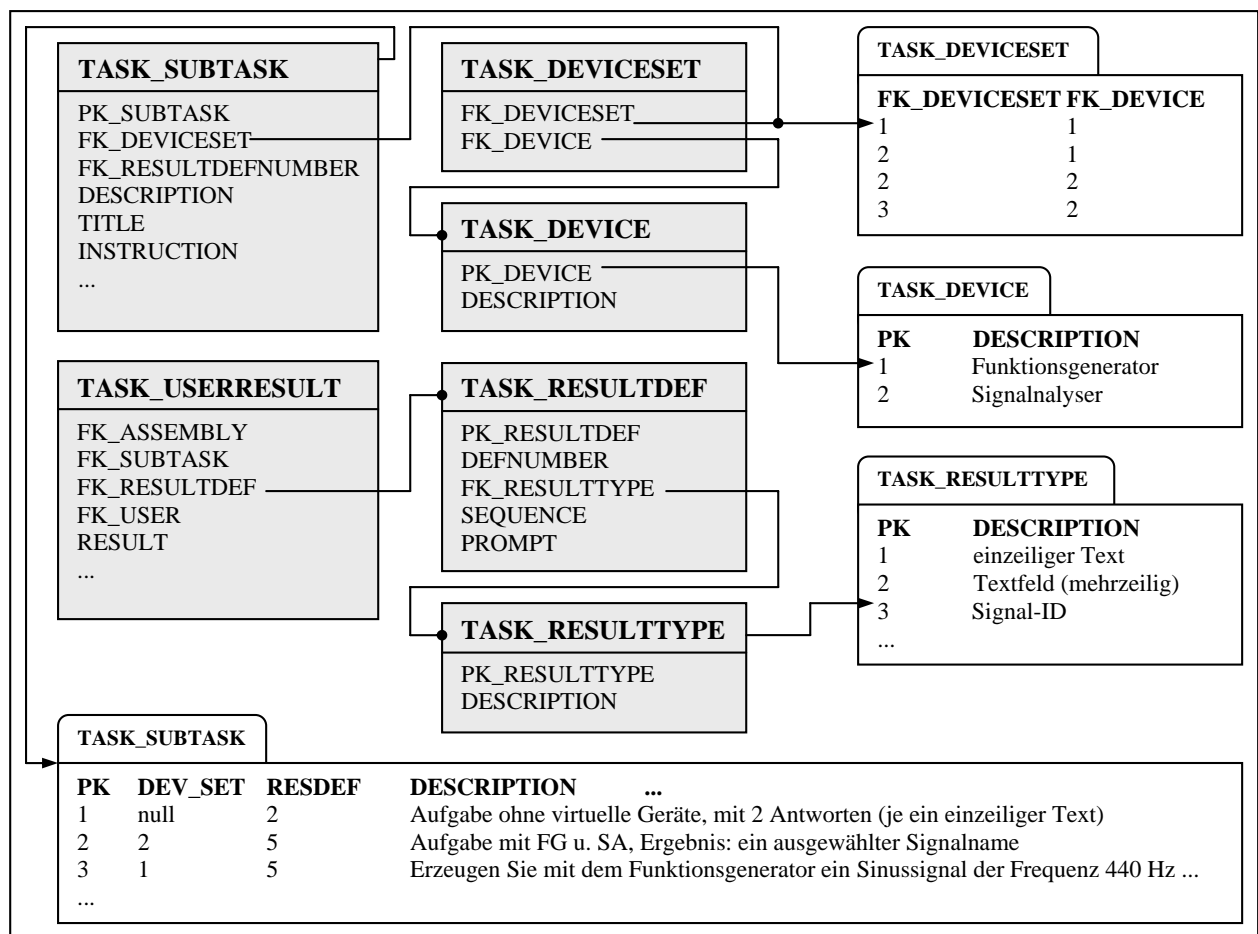
¹⁶ Über den Fragezeichen-Link im Funktionsgenerator-Fenster wird ein Hilfe-Fenster mit der Bedienungsanleitung gestartet.

¹⁷ URL – Uniform Resource Locator

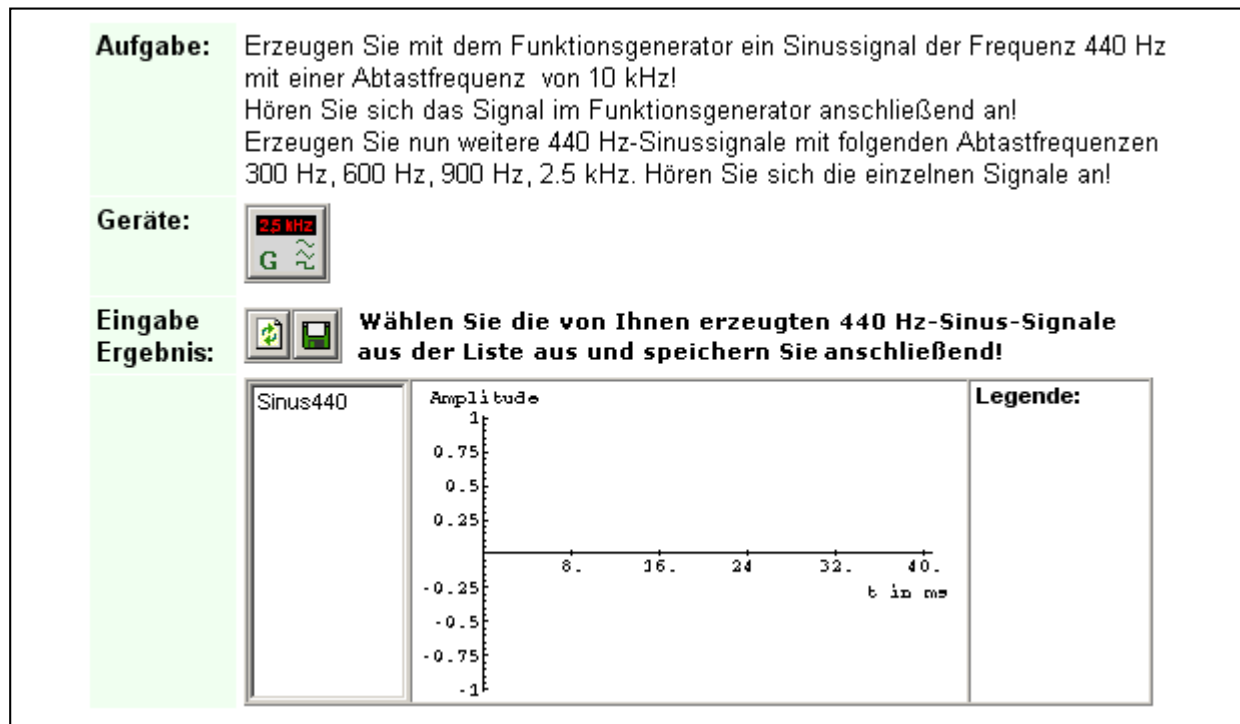
- Nachdem der MathWrapper mit
`MathWrapper math = beanPsmUser.getMathWrapper();`
gestartet wurde, werden über die Funktion
`math.registerMathCommands();`
alle Mathematica-Kommandos aus der `MathCommand.xml` eingelesen.
- Die Auswertung des Funktionsnamen (z.B. zur Erzeugung eines Sinussignals `FctName = FG_Sinus`) verzweigt in die zugehörige Routine.
- Die Übergabeparameter (Signalparameter und Rückgabewerte) werden für das Mathematica-Kommando aus den Nutzer-Eingaben bestimmt und in `cmdParams` abgelegt.
- Nach dem Aufruf der MathWrapper-Funktion
`math.computeCommand(FctName, cmdParams, mFileNameMathCmdPic);`
erfolgt die Berechnung der Signaldaten, des Signalbildes und der Audio-Datei. Dazu wird der Mathematica-Code des entsprechenden Mathematica-Kommandos nach Ersetzen der Parameter über J/Link an den Kernel übergeben und ausgeführt.
- Als Ergebnis werden die Signaldaten in einer Sample-Liste (`String ret`), das Signalbild als gif-Datei, dessen Name in `mFileNameMathCmdPic` steht und die Audio-Datei als wav-Datei erzeugt und vom Kernel an das FG-Servlet zurückgeliefert.
- Vom FG-Servlet aus werden nun die Signalparameter und die Signalliste in der Datenbank abgespeichert.
- In den HTML-Code wird im IMG-Tag durch Angabe des Bildnamen
`
 <jsp:param name="assemblyId" value="<%=mAssembly.mPKAssembly%>" />
 <jsp:param name="subtaskId" value="<%=mAssembly.mSubTasks[task].mPKSubTask%>" />
 </jsp:include>
}

```

Die JSP-Seite *stdSubtask* übernimmt das Rendern einer einzelnen Aufgabeneinheit. Eine Aufgabeneinheit kann aus den Elementen: Aufgabenbeschreibung (optional mit Bild), Startknöpfe für die virtuellen Geräte, Instruktionsanweisung und den Eingabekomponenten für die Nutzerergebnisse bestehen. Die Nutzerergebnisse können dabei von folgendem Typ sein: einfacher Text, mehrzeiliger Text, Einfachauswahl oder Mehrfachauswahl von Signalen, Multiple-Choice-Fragen. Dabei können unterschiedliche Typen und Mehrfachvorkommen eines Typs in einer Teilaufgabe enthalten sein. Zusätzlich kann vor jedem Ergebnis ein Text als Prompt gestellt werden. All diese Zusammenhänge sind in der Datenbank eindeutig definiert (vgl. Abbildung 5.9).

**Abbildung 5.9** Schema der Aufgaben-Tabellen mit Beispielen

Die JSP-Seite ermittelt bei jedem Aufruf zusätzlich die vom Nutzer bereits gespeicherten Ergebniseingaben und füllt die zugehörigen GUI-Elemente mit diesen Werten. Jede Teilaufgabe besitzt einen Speichern-Knopf. Die ausgelöste Speicheraktion persistiert aber nicht nur die einzelne Teilaufgabe, sondern die komplette Aufgabe mit all ihren Teilaufgaben. In Usability-Tests hat sich gezeigt, dass dies für eine sichere Nutzerführung notwendig ist.



**Abbildung 5.10** Beispiel einer Aufgabeneinheit

Somit ergibt sich eine vollständig datengetriebene Template-Engine für die Aufgabendarstellung (vgl. Abbildung 5.10) und -verwaltung, die ein einheitliches Layout garantiert. Der Aufgabenautor ist nur für die Definition und Pflege von Aufgabeninhalten verantwortlich. Durch dieses Template-Konzept besteht keinerlei Aufwand für ihn bei der Präsentation und Verwaltung der eingegebenen Nutzerergebnisse. Außerdem ließen sich einfach durch die Verwendung anderer JSP-Templates und Cascading Style Sheets die Daten in einem anderen Kontext mit völlig anderem Layout verwenden bzw. wären Änderungen nachträglich leicht durchzuführen und es wären mehrere Layout-Varianten möglich.

## 6 Zusammenfassung

### *Zusammenfassung des Erreichten*

Zielstellung dieser Arbeit war es, eine flexibel einsetzbare, praxisverbundene Lehrsoftware für die Organisation und Durchführung eines virtuellen, webbasierten Praktikums zur „Signal- und Mustererkennung“ zu konzipieren, die Rahmenapplikation zu realisieren und ausgewählte Inhalte exemplarisch zu implementieren. Die Idee und zentrales Anliegen der Autorin dabei war, individuell einsetzbare, interaktive Bedienelemente zu entwickeln. Diese als „virtuelle Geräte“ bezeichneten Softwaremodule lassen sich kontextunabhängig sowohl für die Durchführung von Praktika, für das Selbststudium - auf der Basis selbstgesteuerten, explorierenden Lernens und tutoriell geführt - und zur Ergänzung der Lehrveranstaltungen einsetzen. Mit der Konzeption und Entwicklung der Lernumgebung „Virtuelles Praktikum für die Signal- und Mustererkennung“ (vPSM) wurden softwaretechnisch die Rahmenbedingungen geschaffen, die die Integration der virtuellen Geräte und deren Einsatz in den beschriebenen Einsatzszenarien ermöglichen. Darüber hinaus wurde mit der Lernumgebung vPSM die Organisation und Bereitstellung von lehrveranstaltungsergänzendem und -begleitenden Informations-, Lehr- und Übungsmaterialien ermöglicht. Im „Informationspool“ werden zur Unterstützung unterschiedlicher Lernstile diese Lernmaterialien bereitgestellt. Dazu zählen neben tutoriell geführten Lernmodulen (z.B. Fourier-Reihe), interaktive Experimentierumgebungen zu ausgewählten Sachverhalten (z.B. interaktive Aufgabe zur Bestimmung der Fourier-Koeffizienten einer Rechteckfunktion), vorgerechnete Beispielaufgaben, Formelsammlungen, Begriffserläuterungen und Literatur- und Linkverweise. In verschiedenen Lernsituationen ist es möglich, anhand unterschiedlich komplexer Aufgabenstellungen das zuvor in Lehrveranstaltungen theoretisch Erlernte zu vertiefen, zu festigen und zu prüfen. Im „virtuellen Vorbereitungsraum“ ist zur Vorbereitung auf das Online-Praktikum der Nachweis über das Beherrschen der elementaren theoretischen Grundlagen anhand von Vorbereitungsaufgaben zu erbringen und äquivalent dazu geht es bei der Praktikumsdurchführung um die Bewältigung der Praktikumsaufgaben. Beim Durchlaufen der virtuellen Arbeitsräume bauen die Inhalte aufeinander auf und die Komplexität der Aufgaben nimmt zu. Erworbenes Wissen wird so stets unmittelbar wieder angewandt, gefestigt und erweitert.

Die Offenheit des Systems zeichnet sich dadurch aus, dass mit den verschiedenen, integrierten Navigationsprinzipien und Informationssystemen eine einfache Erweiterung weiterer Informationseinheiten (Texte, Begriffserläuterungen, Hilfen, Lerneinheiten) und Komponenten (Experimentierumgebungen, virtuelle Geräte) unterstützt wird. Durch die Vorbereitung und Bereitstellung unterschiedlicher Schnittstellen soll im Rahmen von Forschungs- und betreuten Studienarbeiten, die einen wichtigen Aspekt in der universitären Ausbildung höherer Semester

darstellen, eine Erweiterung der offenen Lernumgebung in weiterführenden Arbeiten vorgenommen werden. Studierende werden hier angehalten, sich tiefergehend mit ausgewählten Problemstellungen und Inhalten auseinander zusetzen und eigene Entwicklungen in die Applikation einzubringen.

Die Konzeption der Lernumgebung sieht eine Strukturierung ausgehend von den Inhalten der Lehrveranstaltungen „Grundlagen der Signalerkennung“ und „Grundlagen der Mustererkennung“ in drei Themenkomplexe: Signalvorverarbeitung, Merkmalsextraktion und Klassifikation vor. Diese bilden jeweils die Grundlage für die am Fachgebiet durchzuführenden Praktika. Zum Themenkomplex „Signalvorverarbeitung“ wurden exemplarisch Inhalte zu den in der Konzeption beschriebenen Komponenten (z.B. Informationsseiten, Aufgaben, Begriffserläuterungen, Experimentierumgebungen) entwickelt und in der Rahmenapplikation integriert. Die Umsetzung der mathematischen Algorithmen erfolgte durch die Integration des Computer-Algebra-Systems Mathematica. Mathematica dient gleichzeitig als Rendering Engine für die Bereitstellung der multimedialen Elemente (Signalgraphiken und Tondateien).

Anhand einfacher synthetischer Signale können die komplexen theoretischen Sachverhalte anschaulich dargestellt, erprobt und anschließend auf praxisrelevante Daten angewandt werden. Im Vordergrund stehen hier akustische Signale wie Sprache, Maschinengeräusche usw.. Mit der Erzeugung und Wiedergabe der akustischen Signale über die Soundkarte in Einheit mit der visuellen Veranschaulichung der Signalgraphen am Bildschirm wird eine Lern- und Kontrollfunktion in der Lernumgebung vPSM bereitgestellt, die einen wesentlichen Qualitätssprung bei der Wissensvermittlung in der Signalverarbeitung und einen wichtigen Aspekt bei der didaktischen Vermittlung signaltheoretischer Zusammenhänge darstellt.

Aus Sicht der Lehrenden besteht die Möglichkeit, Aufgaben unterschiedlichen Komplexitätsgrades zu erstellen und den Studierenden zuzuordnen. Durch das entwickelte und angewandte Konzept von Aufgabeneinheiten und Aufgabensets lassen sich Aufgaben in beliebiger Strukturierung und Gliederung konstruieren. Datenbankgetrieben erfolgt die Speicherung und Verwaltung der Aufgabendaten im Aufgabenpool und die Erstellung der Aufgabenseiten. Diese Aufgaben lassen sich sowohl als Übungsaufgaben als auch als Leistungsnachweis innerhalb der Praktikumsumgebung integrieren. Sie können entsprechend konstruktivistischen Ansätzen gleichzeitig als Anregung zu eigenen Problemstellung bei den Studierenden und in den Lehrveranstaltungen eingesetzt werden. So wird das Aktivieren des vorhandenen Wissens und der bestehenden Fertigkeiten und auch das Aufdecken von Defiziten ermöglicht.

Das notwendige Datenmanagement wird durch den Einsatz einer Datendank realisiert, die die Nutzerdaten, -rechte und -rollen, Signaldaten, Aufgaben und Nutzerergebnisse speichert und verwaltet. Dabei bilden die genannten Komponenten eine stark gekoppelte Einheit und lassen Organisations- und Verwaltungsfunktionen zu, die z.B. zur Praktikumsvorbereitung (Nutzer



anmelden, Aufgaben erstellen und zusammenstellen, Aufgaben einem Nutzer zuordnen, Signaldaten bereitstellen usw.) und zur Ergebnisverarbeitung (Ergebnisse und Signaldaten eines Nutzers speichern, Ergebnisse einsehen und auswerten) notwendig sind.

Bei der Konzeption und Realisierung wurde großer Wert auf die Bereitstellung und Entwicklung von Schnittstellen gelegt, die den Charakter einer offenen Lernumgebung dahingehend unterstützen, dass Ergebnisse zukünftiger Entwicklungen aus z.B. Projekten, Studienarbeiten und Forschungsarbeiten leicht eingearbeitet werden können.

Die Ergebnisse und der aktuelle Stand der Entwicklung der Lernumgebung vPSM wurde vor Fachpublikum auf dem internationalen Symposium „International Remote Engineering Virtual Instrumentation“ in Villach (Österreich) im September 2004 in einem Vortrag präsentiert und veröffentlicht [Bräunig&Seidel, 2004a]. Der Erfahrungsaustausch auf dieser Fachtagung mit dem Schwerpunkt *virtual and remote instrumentation* brachte wesentliche Impulse und Ideen für weiterführende Arbeiten. Auch beim 49. Internationalen Wissenschaftlichen Kolloquium in Ilmenau im September 2004 wurde die Arbeit [Bräunig&Seidel, 2004b] vorgestellt und in einem eingeladenen Paper für das elektronische Journal iJOE<sup>1</sup> wurde im Mai 2005 ein Beitrag eingereicht.

### *Erfahrungen im Einsatz*

Die bisherigen Erfahrungen mit der internetbasierten, interaktiven Lernumgebung vPSM beruhen auf einem ersten Einsatz des Themenkomplexes „Signalvorverarbeitung“ im Sommersemester 2004 im Rahmen des "Komplexpraktikums Technische Erkennung" an der TU Ilmenau und auf dem Einsatz einer stark überarbeiteten und erweiterten Version im Sommersemester 2005. Hier standen in erster Linie die Erprobung des Systems und die Rückmeldung von Lehrkräften des Fachbereiches und von Studierenden der Lehrveranstaltungen zur Signal- und Mustererkennung im Vordergrund. Nach Durchführung des Praktikums wurden mit den Praktikumssteilnehmern in einem persönlichen Gespräch inhaltliche und funktionale Komponenten diskutiert und sie wurden angehalten, einen Fragebogen zur Evaluierung der Lernumgebung hinsichtlich Usability auszufüllen. Zu berücksichtigen ist hierbei, dass es sich bei den Studierenden um erfahrene Computer- und Internet-Nutzer handelt, die mit den in vPSM verwendeten Standardinteraktionsobjekten und den browserüblichen Navigationsmethoden vertraut sind. Aus den Gesprächen und dem Fragebogen lassen sich u.a. folgende Tendenzen ableiten:

---

<sup>1</sup> iJOE - International Journal of Online Engineering, <http://www.ijoe.org/ojs> (letzter Zugriff: 30.09.2005)

- Die Einarbeitung und Orientierung innerhalb der Lernumgebung wurde von allen Nutzern problemlos in kürzester Zeit bewältigt. In diesem Zusammenhang wurde der Aufbau und die Verständlichkeit als gut bewertet und die Verwendung üblicher Konventionen für die Navigation und Interaktion als bedienerfreundlich angegeben.
- Sowohl bei der Durcharbeitung der Informationsseiten als auch bei der Bearbeitung der Aufgabenstellungen empfanden die Studierenden die Möglichkeit der akustischen Wiedergabe von Beispiel- und generierten Signalen als sehr hilfreich. Speziell in Zusammenhang mit der Signalgenerierung und wenn es darum ging, komplexere Signale mit dem Signalanalyser zu bearbeiten, wurde dies intensiv genutzt.
- Das Konzept der virtuellen Geräte wurde spontan angenommen und es wurde vielfältig mit den virtuellen Geräten experimentiert. Dabei entwickelten die Studierenden schnell eigene Fragestellungen (z.B. Wie hört sich ein Signal an, was unterabgetastet wird? und Warum ist das so?) oder versuchten ihr Wissen experimentell zu untermauern. Wünschenswert wäre eine baldige Erweiterung der mathematisch-algorithmischen Funktionalität der virtuellen Geräte bzw. die Entwicklung und Bereitstellung weiterer virtueller Geräte, um auch andere Themengebiete bearbeiten zu können.
- Die Druckfunktion speziell für das Ausdrucken des aktuellen Bearbeitungsstandes im Signalanalyser wurde als sehr nützlich bewertet.
- Als besonders interessant und innovativ wurde die Möglichkeit bewertet, eigene Signaldaten als Wav-Dateien in die Lernumgebung hoch zuladen und von dort aus weiterverarbeiten zu können.
- Änderungsvorschläge bezüglich des Gerätedesigns (z.B. Anordnung der Eingabefelder im Signalanalyser) wurden z.T. in der veränderten Version mit eingearbeitet. Dabei konnte festgestellt werden, dass bei der Arbeit mit dem Signalanalyser die Funktionsschaltflächen angelehnt an die eines Taschenrechners sehr zur intuitiven Anwendung beigetragen haben.
- Weiterhin konnte durch Auswertung der Protokollierungsdatei, die ausgewählte Aktionen der Nutzer speichert, festgestellt werden, dass die systembeschreibenden Hilfen kaum benutzt wurden und trotzdem ein reibungsfreies Arbeiten zu beobachten war.

Da die Entwicklung und Erweiterung der Lernumgebung vPSM stetig fortschreitet, ist eine regelmäßige, kritische Begutachtung durch lehrerfahrene Dozenten und Mitarbeiter durchzuführen. Die zu erwartenden Anmerkungen, Empfehlungen oder Fehlerhinweise sind zu analysieren und gegebenenfalls zu berücksichtigen.

### Ausblick

Neben den beschriebenen Ergebnissen lassen sich aus der vorliegenden Arbeit neue Arbeitsaufgaben und Forschungspotentiale ableiten, die eine intensive Weiterführung der Arbeiten zu diesem Themenbereich notwendig machen. Von besonderem Interesse scheint der Autorin die Weiterentwicklung zu folgenden Schwerpunkten:

- Die multimediale Aufbereitung und Bereitstellung weiterer inhaltlicher Komponenten (z.B. Informationsseiten, Tutoriells, Experimentierumgebungen, Begriffserläuterungen) und eine stärkere Kopplung und Abstimmung zwischen den Präsenzlehrveranstaltungen für die Signal- und Mustererkennung mit der Lernumgebung vPSM sind die unmittelbaren Zielstellungen, um den Einsatz noch flexibler und umfassender zu ermöglichen. Dazu zählt die Erstellung und Integration weiterer funktioneller Komponenten, wie z.B. algorithmische Funktionen für vorhandene virtuelle Geräte, weitere virtuelle Geräte und angepasste Präsentationsmöglichkeiten. Um die Mächtigkeit der Mathematica-Funktionalität intensiver zu nutzen, wird speziell bei der Berechnung von Merkmalsdaten und deren Darstellung die Anwendung von 3D-Graphiken und LiveGraphics3D<sup>2</sup> angestrebt. Für die Vorbereitungs- und Praktikumsaufgaben soll durch die Definition von Parameterfeldern, die Erweiterung der DTD und die Anpassung des *TaskAssemblyManagers* die automatische Bestimmung der Aufgabenparameter innerhalb definierter Grenzen ermöglicht werden.
- Um den Praxisbezug zu verstärken ist die Kopplung der bisher rein rechnergestützten Versuchsdurchführungen zu realen Experimentiermöglichkeiten auszubauen. In einem ersten Schritt kann dies durch hinzuziehen einer zusätzlichen Software (z.B. DasyLab<sup>3</sup>) zur Messaufnahme geschehen. Für zukünftige Entwicklungen ist die unmittelbare Integration einer Hardwareschnittstelle angestrebt, die die Ansteuerung des Versuchsaufbaus direkt aus der Lernumgebung ermöglicht. Als visionärer Blick in die Zukunft ist die Entwicklung eines *remote lab* angestrebt. Dies soll den Nutzern die ferngesteuerte Messwertaufnahme an einem Versuchsstand erlauben.
- Durch die Anbindung der mathematischen Funktionalität über eine einfache XML-Schnittstelle ist es zukünftig gut vorstellbar, dass fremdentwickelter Mathematica-Code in die Lernumgebung integriert werden kann. So könnten z.B. zu den in der Lernumgebung vorhandenen Merkmalsberechnungsverfahren eigene entwickelt in die Lernumgebung hochgeladen und auf die Datensätze angewandt werden. Zu diesem Zweck liegt im besonderen Augenmerk der Autorin die Entwicklung eines weiteren virtuellen Gerätes – die „Funktionswerkstatt“ (function factory). Der Nutzer hat hier die Möglichkeit zur Integration

---

<sup>2</sup> Mit dieser Technologie ist es möglich, dass sich 3d-Graphiken frei um ihre eigenen Achsen bewegen und so die Sicht von allen Seiten auf die Graphik zulassen.

<sup>3</sup> DasyLab ist eine Messwerterfassungs- und Datenverarbeitungssoftware auf der Basis grafischer Programmierung, die eine kostenfreie Studentenversion bietet mit der eine Messwerterfassung über die Soundkarte unterstützt wird.

und experimentellen Anwendung von eigenem Mathematica-Code in die Lernumgebung. Der Anwender fügt in einem einfachen Pflegeformular, wie es in einem ersten Entwurf im Anhang C zu finden ist, den Mathematica-Code ein. Anschließend definiert er die erforderlichen Schnittstellenparameter, wie z.B. den Funktionsnamen, die Übergabeparameter und den Rückgabetyt. In der Funktionswerkstatt (vgl. Anhang C, unten) stehen dem Nutzer diese Routinen zur Verfügung. Je nach definiertem Typ wählt er noch die Eingangsdaten aus und konkretisiert die Werte der Funktionsargumente. Nach der Berechnung werden die Ergebnisse visualisiert und können auf Wunsch gespeichert werden.

## Literaturverzeichnis

- [**Allen& Mills, 2004**] Allen, Ronald L.; Mills, Duncan W.: Signal Analysis. Time, Frequenz, Scale, and Structure, IEEE Press, Piscataway, 2004, ISBN 0-471-23441-9
- [**Anderson, 2001**] Anderson, John R.: Kognitive Psychologie, Spektrum Akademischer Verlag, 2001, ISBN 3-8274-1024-X
- [**Astleitner, 2002**] Astleitner, Hermann: Qualität des Lernens im Internet. Virtuelle Schulen und Universitäten auf dem Prüfstand, Peter Lang GmbH, Europäischer Verlag der Wissenschaften, Frankfurt am Main, 2002, ISBN 3-631-38982-5
- [**Auer&Auer, 2004**] Auer, Michael E.; Auer, Ursula: International Remote Engineering Virtual Instrumentation, Symposium REV 2004, Kassel University Press, 2004, Carinthia Tech Inst., Villach, ISBN 3-89958-089-3
- [**Bachmann, 1992**] Bachmann, Wolfgang: Signalanalyse. Grundlagen und mathematische Verfahren, Vieweg Verlagsgesellschaft, Braunschweig, 1992, ISBN 3-528-04912-X
- [**Ballstaedt, 1997**] Ballstaedt, Steffen-Peter: Wissensvermittlung. Die Gestaltung von Lernmaterial, Beltz PsychologieVerlagsUnion, Weinheim, 1997, ISBN 3-621-27381-6
- [**Baumgartner&Payr, 1994**] Baumgartner, Peter; Payr, Sabine: Lernen mit Software, Österreichischer Studienverlag, Innsbruck, 1994, ISBN 3-901160-38-8
- [**Beste, 1996**] Beste, Dieter (Hrsg.): Bildung im Netz. Auf dem Weg zum virtuellen Lernen, VDI Verlag, 1996, ISBN 3-18-401593-9
- [**Blumstengel, 1998**] Blumstengel, Astrid: Entwicklung hypermedialer Lernsysteme, Diss., Wissenschaftlicher Verlag, Berlin, 1998
- [**BMBF, 2002**] BMBF<sup>1</sup>: Förderprogramm IT-Forschung 2006. Informations- und Kommunikationstechnik, März 2002, Link: [http://www.bmbf.de/pub/it-forschung\\_2006.pdf](http://www.bmbf.de/pub/it-forschung_2006.pdf)
- [**BMBF193, 2000**] BMBF: „BMBF-Programm ‚Neue Medien in der Bildung‘: Erste Projekte freigegeben“, Pressemitteilung 193/2000 vom 08.12.2000
- [**BMBF229, 2003**] BMBF: „Bundeskabinett beschließt Masterplan zur Informationsgesellschaft“, Pressemitteilung 229/03 vom 03.12.2003
- [**BMBFKursbuch, 2004**] Kursbuch eLearning: Produkte aus dem Förderprogramm, Bundesministerium für Bildung und Forschung; BMBF Publik., Nebentitel: Neue Medien in der Bildung – Hochschulen, Hrsg.: DLR-Projektträger, ISBN 3-00-012879-4
- [**BMWA&BMWF, 2003**] BMWA<sup>2</sup> und BMBF: „Informationsgesellschaft Deutschland 2006“. Aktionsprogramm der Bundesregierung, Dezember 2003, Link: [http://www.bmbf.de/pub/aktionsprogramm\\_informationsgesellschaft\\_2006.pdf](http://www.bmbf.de/pub/aktionsprogramm_informationsgesellschaft_2006.pdf)
- [**Bock&Diday, 2000**] Bock, Hans-Hermann; Diday, Edwin: Analysis of Symbolic Data. Exploratory Methods for Extracting Statistical Information, Springer Verlag, Berlin, 2000, ISBN 3-540-66619-2
- [**Bock, 1974**] Bock, Hans-Hermann: Automatische Klassifikation. Theoretische und praktische Methoden zur Gruppierung und Strukturierung von Daten, Vandenhoeck & Ruprecht Verlag, 1974, ISBN 3-525-40130-2
- [**Bodendorf, 1993**] Bodendorf, Freimut; Endres, Albert: Computer in der betrieblichen Weiterbildung, Bd. 15.2, Reihe Handbuch der Informatik, Oldenbourg Verlag, München, 1993, ISBN 3-486-20698-2

---

<sup>1</sup> BMBF - Bundesministerium für Forschung und Bildung

<sup>2</sup> BMWA - Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit

- [**Böhme, 1998**] Böhme, Johann F.: Stochastische Signale: eine Einführung in Modelle, Systemtheorie und Statistik mit Übungen und einem MATLAB-Praktikum, Teubner Verlag, Stuttgart, 1998, Teubner-Studienbücher, ISBN 3-519-16160-5
- [**Booz Allen&Hamilton, 1997**] Booz, Allen & Hamilton GmbH: Zukunft Multimedia: Grundlagen, Märkte und Perspektiven in Deutschland. Reihe Kommunikation heute und morgen; IMK der Verlagsgruppe FAZ; Frankfurt; 1997
- [**Bossel, 2004**] Bossel, Harmut: Systeme, Dynamik, Simulation. Modellbildung, Analyse und Simulation komplexer Systeme, Books on Demand GmbH, Norderstedt, 2004, ISBN 3-8334-0984-3
- [**Bräunig et al., 2003**] Bräunig, Sylvia; Neundorf, Volker; Henke, Karsten: EUROLAB. Integrated Network of European Online Laboratories, STREP Project draft, M. Auer, Fachhochschule Technikum Kärnten, Villach, 2003
- [**Bräunig&Seidel, 2004a**] Bräunig, Sylvia; Seidel, Heinz-Ulrich: "Webbased virtual Online Laboratory for Signal and Pattern Recognition", in Auer, M. E.: International REV Symposium, 2004, Carinthia Tech Institute Villach, ISBN 3-89958-909-7
- [**Bräunig&Seidel, 2004b**] Bräunig, Sylvia; Seidel, Heinz-Ulrich: Ein webbasiertes virtuelles Praktikum „Signal und Mustererkennung“, 49. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium, TU Ilmenau, Shaker Verlag, Aachen, 2004, ISBN 3-8322-2824-1
- [**Bruner, 1981**] Bruner, Jerome S.: Der Akt der Entdeckung, in: Neber, Heinz (Hrsg.): Entdeckendes Lernen, Beltz PsychologieVerlagsUnion, Weinheim, 1981, S.21
- [**Burger&Finsterbusch, 1985**] Burger, Peter; Finsterbusch, Horst: Ein Beitrag zur Einführung rechnerunterstützter Übungsplätze in der Ausbildung technischer Lehrgebiete, Dissertation, TH Ilmenau, 1985
- [**Canizares&Faur, 1997**] Canizares, Claudio A., Faur, ZenoT., Advantages and Disadvantages of Using Various Computer Tools in Electrical Engineering Courses, IEEE Transactions on Education, August 1997, Vol. 40 No.3, ISSN: 0018-9359
- [**Conrad, 2004**] Conrad, Thomas: Entwicklung von Fragekomponenten zur Lernkontrolle von e-Learning-Kursen am Beispiel eines Kurses zum Erlernen der Blindenschrift, Universität Stuttgart, Diplomarbeit, 2004, Link: <http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2004/1643/>
- [**Debik, 2002**] Debik, Peter: Das Oszilloskop - ein Beispiel zur Gestaltung von Lehr- und Lernsoftware für virtuelle Laboratorien, Magisterarbeit, TU Berlin, FG Kommunikationswissenschaft, Link: <http://www.virtuelles-oszilloskop.de/documentation/dokumentation.pdf>
- [**Dickreiter, 2003**] Dickreiter, Michael: Mikrofon-Aufnahmetechnik. Aufnahmeräume, Schallquellen, Mikrofone, Räumliches Hören, Aufnahmeverfahren, Aufnahme einzelner Instrumente und Stimmen, Hirzel Verlag, Stuttgart, 2003, ISBN 3-7776-1199-9
- [**Dieckmann, 2003**] Dieckmann, Andreas: Generische E-Learning Plattform für interaktive Lehrsimulationen zum Einsatz in Selbststudium und Präsenzlehre online und offline, Universität Bielefeld, 2003, Online Publikation: <http://bieson.ub.uni-bielefeld.de/volltexte/2004/532/>
- [**Dörr&Jüngst, 1998**] Dörr, Günther; Jüngst, Karl Ludwig: Lernen mit Medien. Ergebnisse und Perspektiven zu medial vermittelten Lehr- und Lernprozessen, Juventa Verlag, Weinheim, 1998, ISBN 3-7799-1387-9
- [**Dörr&Strittmatter, 1997**] Dörr, Günter; Strittmatter, Peter: Multimedia aus pädagogischer Sicht in Issing, L. J. Klimsa, P. (Hrsg.): Information und Lernen mit Multimedia, S. 30ff, Beltz Psychologie VerlagsUnion, Weinheim, Basel, 1997, ISBN 3-621-27374-3
- [**Edelmann, 2000**] Edelmann, Walter: Lernpsychologie, Beltz PsychologieVerlagsUnion, Weinheim, 2000, ISBN 3-621-27465-0
- [**Eichner et al., 2004**] Eichner, Matthias; Göcks, Marc; Hoffmann, Rüdiger; Wolff, Matthias: Speech enabled services in a web-based e-learning environment, IASTED International Conference Web-based Education, Innsbruck, 2004
- [**ISO9241-10, 1996**] EN ISO 9241-10: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeit mit Bildschirmgeräten, Teil 10: Grundsätze der Dialoggestaltung, DIN Deutsches Institut für Normierung e.V., Berlin, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1996

- [**Fellbaum&Göcks, 2004**] Fellbaum, Klaus-Rüdiger; Göcks, Marc (Hrsg.): eLearning an der Hochschule, Shaker Verlag, Aachen, 2004, ISBN 3-8322-2531-5
- [**Fellbaum, 1984**] Fellbaum, Klaus-Rüdiger: Sprachverarbeitung und Sprachübertragung, Springer Verlag, Berlin, 1984, ISBN 3-540-13306-2
- [**Finsterbusch&Burger, 2004**] Finsterbusch, Horst; Burger, Peter: Einsatz des Computeralgebrasystems "Mathematica" in der universitären Forschung und Lehre, 12. Workshop „Mathematica in Forschung und Lehre“, 01.10.2004, TU Ilmenau
- [**Finsterbusch&Burger, 1999**] Finsterbusch, Horst; Burger, Peter: Modellbildung für Ingenieure: Möglichkeiten und Grenzen von Mathematica. Einsatz von Mathematica in der Lehre, Beispiele aus den Übungen "Grundlagen der Signalerkennung", Vortrag an der TU Chemnitz, 26.02.1999
- [**Finsterbusch&Burger, 1985**] Finsterbusch, Horst; Burger, Peter: Ein Beitrag zur Einführung rechnerunterstützter Übungsplätze in der Ausbildung technischer Lehrgebiete, Diss., TH Ilmenau, 1985
- [**Flusser, 1996**] Flusser, Vilém: Zwiesgespräche: Interview 1967-1991, Müller-Pohle, Andreas (Hrsg.), Verlag European Photography, Edition Flusser, Band IX, Göttingen, 1996
- [**Fu, 1980**] Fu, King S.: Digital pattern recognition, Springer Verlag, Berlin, 1980, ISBN 3-540-10207-8
- [**Gander&Hřebíček, 2004**] Gander, Walter; Hřebíček, Jirí: Solving problems in scientific computing using Maple and MATLAB, with 12 tables, Springer Verlag, Berlin, 2004, ISBN 3-540-21127-6
- [**Garmann, 1995**] Garmann, Udo: Künstliche Intelligenz im computerunterstützten Unterricht, Diss., Technische Universität Erlangen – Nürnberg, 1995
- [**Genzel, 1997**] Genzel, Stephan: Computergestützte Analyse der Objekterkennung, Verlag Dr. Kovac, 1997, ISBN 3-86064-582-X
- [**Glowalla&Häfele, 1997**] Glowalla, Ulrich; Häfele, G.: Einsatz elektronischer Medien, Probleme und Perspektiven, in Issing, L. J. Klimsa, P. (Hrsg.): Information und Lernen mit Multimedia, S. 415-436, Beltz Psychologie VerlagsUnion, Weinheim, Basel, 1997, ISBN 3-621-27374-3
- [**Glowalla&Schoop, 1996**] Glowalla, Ulrich; Schoop, Eric: Deutscher Multimedia Kongress '96. Perspektiven multimedialer Kommunikation, Springer Verlag, Berlin, 1996, ISBN 3-540-60907-5
- [**Glowalla&Schoop, 1992**] Glowalla, Ulrich; Schoop, Eric: Hypertext und Multimedia. Neue Wege in der computerunterstützten Aus- und Weiterbildung, Springer Verlag, Berlin, 1992, ISBN 3-540-55899-3
- [**Grünigen, 2001**] Grünigen, Daniel Ch. von: Digitale Signalverarbeitung, Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, München, 2001, ISBN 3-446-21445-3
- [**Haack, 1995**] Haack, J.: Interaktivität als Kennzeichen von Multimedia und Hypermedia. In Issing, J.; Klimsa, P.: Information und Lernen mit Multimedia, 1995, S. 151-165
- [**Hasebrook&Otte, 2002**] Hasebrook, Joachim, Otte, Matthias: E-Learning im Zeitalter des E-Commerce. Die dritte Welle, Verlag Hans Huber, Bern, 2002, ISBN 3-456-83654-6
- [**Henle, 1998**] Henle, Hubert: Das Tonstudio Handbuch. Praktische Einführung in die professionelle Aufnahmetechnik, GC Carstensen Verlag, München, 1998, ISBN 3-910098-14-2
- [**Hesselmann, 1987**] Hesselmann, Norbert: Digitale Signalverarbeitung. Rechnergestützte Erfassung, Analyse und Weiterverarbeitung analoger Signale, Vogel Buchverlag, 1987, ISBN 3-8023-0707-0
- [**Hitzges, 1994**] Hitzges, Arno: Chancen und Risiken von Multimedia Systemen in der betrieblichen Aus- und Weiterbildung, IRB Verlag, Stuttgart, 1994, ISBN 3-8167-4480-X
- [**Hoffmann, 1998**] Hoffmann, Rüdiger: Signalanalyse und -erkennung. Eine Einführung für Informationstechniker, Springer Verlag, Berlin, 1998, ISBN 3-540-63443-6
- [**Holzinger, 2002**] Holzinger, Andreas: Basiswissen Multimedia. Band 1: Technik, Vogel Buchverlag, 2002, ISBN 3-8023-1914-1
- [**Holzinger, 2001a**] Holzinger, Andreas: Basiswissen Multimedia. Band 2: Lernen, Vogel Buchverlag, 2001, ISBN 3-8023-1857-9
- [**Holzinger, 2001b**] Holzinger, Andreas: Basiswissen Multimedia. Band 3: Design, Vogel Buchverlag, 2001, ISBN 3-8023-1858-7
- [**Hovstadt, 1994**] Hovstadt, Klaus: Multimedia leicht gemacht, Lingen Verlag, Bergisch Gladbach, 1994

- [Hubwieser, 2004] Hubwieser, Peter: Didaktik der Informatik. Grundlagen, Konzepte, Beispiele Springer Verlag, Berlin, 2004, ISBN 3-540-43510-7
- [Iakimtchouk&Wagner, 2000] Iakimtchouk, Vera; Wagner, Edwin: MathCad als Ingenieurwerkzeug in der multimedialen Lernumgebung, 4. Workshop „Multimedia für Bildung und Wirtschaft“, TU Ilmenau, 18./29.09.200, ISSN 1436-4492, S. 63-70
- [Issing, 1998] Issing, Ludwig J.: Lernen mit Multimedia aus psychologisch-didaktischer Perspektive, in: Dörr, G., Jüngst, K. L. (Hrsg.): Lernen mit Medien. Ergebnisse und Perspektiven zu medial vermittelten Lehr- und Lernprozessen, Juventa Verlag, Weinheim, 1998, ISBN 3-7799-1387-9
- [Issing&Klimsa, 2002] Issing, Ludwig J.; Klimsa, Paul (Hrsg.): Informationen und Lernen mit Multimedia und Internet. Lehrbuch für Studium und Praxis, BELTZ PsychologieVerlagsUnion, 2002, ISBN 3-621-27449-9
- [Issing&Klimsa, 1997] Issing, Ludwig J.; Klimsa, Paul (Hrsg.): Informationen und Lernen mit Multimedia, BELTZ PsychologieVerlagsUnion, Weinheim, 1997
- [Karrenberg, 2002] Karrenberg, Ulrich: Signale Prozesse Systeme – Eine multimediale und interaktive Einführung in die Signalverarbeitung, Springer Verlag, Berlin, 2002, ISBN 3-540-41769-9
- [Kerres&Voß, 2003] Kerres, Michael; Voß Britta: Digitaler Campus. Vom Medienprojekt zum nachhaltigen Medieneinsatz in der Hochschule, Vorträge der Gesellschaft für Medien in der Wissenschaft 2003, Universität Duisburg-Essen, Waxmann Verlag, Münster, 2003, ISBN 3-8309-1288-9
- [Kerres, 2001] Kerres, Michael: Multimediale und telemediale Lernumgebungen. Konzeption und Entwicklung, Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München, Wien, 2001, ISBN 3- 486-25055-8
- [Kindt, 1999] Kindt, Michael: Projektevaluation in der Lehre. Multimedia an Hochschulen zeigt Profile(e). Medien in der Wissenschaft Bd. 7, Waxmann Verlag, Münster, 1999, ISBN 3-89325-745-4
- [Kirstein, 1999] Kirstein, Jürgen: Interaktive Bildschirmexperimente. Technik und Didaktik eines neuartigen Verfahrens zur multimedialen Abbildung physikalischer Experimente, TU Berlin, Diss., 1999
- [Kirstein, 2000] Kirstein, Jürgen: Interaktive Bildschirm-Experimente. Elektrizitätslehre 1, Klett-Labor, Ernst Klett Verlag, ISBN 3-12-772582-5
- [KleinU, 2000] Klein, Ulrich: Schwingungsdiagnostische Beurteilung von Maschinen und Anlagen, Verlag Stahleisen GmbH, 2000, ISBN 3-514-00663-6
- [KleinB, 2000] Klein, Benedikt: Didaktisches Design hypermedialer Lernumgebungen. Die adaptive Lernumgebung „incops“ zur Einführung in die Kognitionspsychologie, Tectum Verlag, Marburg, 2000, Univ. Diss., ISBN 3-8288-8187-4
- [Kleinmann&Wannemacher, 2004] Kleinmann, Bernd; Wannemacher, Klaus: E-Learning an deutschen Hochschulen. Von der Projektentwicklung zur nachhaltigen Implementierung, Hochschulplanung Band 165, Herausgegeben von der HIS GmbH im Auftrag des BMBF, 2004, ISBN 3-930447-56-8
- [Klimsa, 1993] Klimsa, Paul: Neue Medien und Weiterbildung. Anwendung und Nutzung in Lernprozessen der Weiterbildung, Deutscher Studien Verlag, Weinheim, 1993, ISBN 3-89271-432-0
- [Klimsa&Richter, 2001] Klimsa, Paul; Richter, Anja; Hrsg.: Rektor der TUI, Psychologische und didaktische Grundlagen des Einsatzes von Bildungsmedien, aus: Diskussionsbeiträge, Redaktion Inst. f. Medien- u. Kommunikationswiss., Dez. 2001, ISSN 1617-9048
- [Koegel Buford, 1994] Koegel Buford, John F.: Multimedia systems, SIGGRAPH Book Series; acm press; New York; 1994, ISBN 0-201-53258-1
- [Kolb, 1999] Kolb, Hans-Peter: Multimedia – Einsatzmöglichkeiten, Marktchancen und gesellschaftliche Implikationen, Peter Lang GmbH Europäischer Verlag der Wissenschaften, 1999, ISBN 3-631-34851-7
- [Krapp&Weidenmann, 2001] Krapp, Andreas; Weidenmann, Bernd: Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch, Beltz Psychologie Verlags Union, Weinheim, 2001, ISBN 3-621-27473-1
- [Kroschel, 2004] Kroschel, Kristian: Statistische Informationstechnik. Signal- und Mustererkennung, Parameter- und Signalschätzung, Springer Verlag, Berlin, 2004



- [**Kroschel, 1996**] Kroschl, Kristian: Statistische Nachrichtentheorie. Signal- und Mustererkennung, Parameter- und Signalschätzung, Springer Verlag, Berlin, 1996, ISBN 3-540-61306-4
- [**Kuhn, 1999**] Kuhn, Thomas S.: Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen, Suhrkamp Taschenbuch Wissenschaft, 1999, Frankfurt a. M., ISBN 3-518-27625-5
- [**Langer, 2002**] Langer, Berno: Konzeption für die Durchführung von Online-Praktikumsversuchen, Universität Stuttgart, Diplomarbeit #2036, 2002, Link: <http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2003/1321>
- [**Lefrançois, 1994**] Lefrançois, Guy R.: Psychologie des Lernen, Springer Verlag, Berlin, 1994, ISBN 3-540-57807-2
- [**Lehmann, 1999**] Lehmann, Klaus (Hrsg.): Studieren 2000. Alte Inhalte in neuen Medien?, Waxmann Verlag GmbH, 1999, Fachtagung der GMW an der TU Dresden, Sept. 1998, ISBN 3-89325-776-4
- [**Leibner, 2000**] Leibner, Peter: Signale und Spektren, Signaltransformationen der Elektrotechnik mit Herleitung und Beispielen, Krehl Verlag, Münster, 2000, ISBN 3-931546-15-2
- [**Lüke, 1990**] Lüke, Hans Dieter: Signalübertragung, Grundlagen der digitalen und analogen Nachrichtenübertragungssysteme, Springer Verlag, Berlin, 1990, ISBN 3-540-52177-1
- [**Mäusl&Göbel, 2002**] Mäusl, Rudolf; Göbel, Jürgen: Analoge und digitale Modulationsverfahren. Basisband und Trägermodulation, Hüthig Verlag, Heidelberg, 2002, ISBN 3-7785-2886-6
- [**Maier, 1998**] Maier, Wolfgang: Grundkurs Medienpädagogik Mediendidaktik. Ein Studien- und Arbeitsbuch, Beltz Verlag, Weinheim Basel, 1998, ISBN 3-407-25210-2
- [**Meier, 1980**] Meier, Heinz-E.: Objektive akustische Güteprüfung. Entwurf eines Prüfsystems und Anwendung für einen Elektromotor, Diss., Karlsruhe, 1980
- [**Meister, 2004**] Meister, Dorothee M.; Tergan, Sigma-Olaf; Zentel, Peter (Hrsg.): Evaluation von E-Learning. Zielrichtung, methodologische Aspekte, Zukunftsperspektiven, Waxmann Verlag, Münster, 2004, ISBN 3-8309-1311-7
- [**Mekonnen, 1991**] Mekonnen, Moges: Zur Anwendung der Signalanalyse und Mustererkennung in der Geräuschdiagnose am Beispiel von elektro-mechanischen Systemen, Diss., TH Ilmenau, 1991
- [**Mertins, 1996**] Mertins, Alfred: Signaltheorie, Teubner Verlag, Stuttgart, 1996, ISBN 3-519-06178-3
- [**Merx, 1999**] Merx, Oliver (Hrsg.): Qualitätssicherung bei Multimedia-Projekten, Springer Verlag, Berlin, 1999, ISBN 3-540-65409-7
- [**Meschenmoser, 1998**] Meschenmoser, Helmut: Lernen mit Medien. Zur Theorie, Didaktik und Gestaltung von interaktiven Medien, Univ. Diss., Schneider Verlag Hohengehren, Baltmannsweiler, 1998, ISBN 3-89676-187-0
- [**MeyersLexikon5, 1993**] Meyers Neues Lexikon, Bd. 5, Meyers Lexikonverlag, 1993, ISBN 3-411-07551-1
- [**MHEG, 1993**] MHEG. Information Technology- Coded Representation of Multimedia und Hypermedia-Information (MHEG), Part 1: Base notation (ASN.1). Committee draft ISO/IEC CD 13522-1, Juni 1993. ISO/IECJTC1/SC29/WG12.
- [**Mildenberger, 1995**] Mildenberger, Otto: System- und Signaltheorie. Grundlagen für das informationstechnische Studium, Vieweg Verlag, Braunschweig, 1995, ISBN 3-528-23039-8
- [**MMKH, 2004**] Multimedia Kontor Hamburg: e-Learning an deutschen Hochschulen – Trends 2004, Studie von MMKH und MMB, Link: <http://www.mmkh.de> (letzter Zugriff: 30.09.2005)
- [**Müller, 2000**] Müller, Klaus Heinrich: Eine virtuelle Werkstatt für internationale Tele-Gruppenarbeit am Beispiel einer Fertigung von Drehteilen, Fortschrittsberichte VDI, VDI Verlag, Düsseldorf, Diss., 2000
- [**Müller, 1997**] Müller, Dieter; Steenbock, Jürgen: Hypermediagestützte Simulationssysteme für berufliche Schulen (HYSIM), Abschlussbericht zum Modellversuch, Bremen, 1997, Link: <http://www.arteclab.uni-bremen.de/Projects/Hysim/> (letzter Zugriff: 30.09.2005)
- [**Müller-Wichards, 1999**] Müller-Wichards, Dieter: Transformationen und Signale, Teubner Verlag, Stuttgart, 1999, ISBN 3-519-02742-9

- [**Neber, 1981**] Neber, Heinz (Hrsg.): Entdeckendes Lernen, Beltz PsychologieVerlagsUnion, Weinheim, 1981
- [**Negroponte, 1995**] Negroponte, Nicholas: Total Digital: die Welt zwischen 0 und 1 oder die Zukunft der Kommunikation, Bertelsmann Verlag, München, 1995, ISBN 3-570-12201-8
- [**Niedermeier, 2004**] Niedermeier, Stephan: Cocoon 2 und Tomcat, Galileo Press, Bonn, 2004, ISBN 3-89842-439-1
- [**Niegemann, 2001**] Niegemann, Helmut M.: Neue Lernmedien. Entwickeln, Konzipieren, Einsetzen, Verlag Hans Huber, Bern, 2001, ISBN 3-456-83448-9
- [**Niegemann&Hessel, 2004**] Niegemann, Helmut M.; Hessel, Silvia: Kompendium E-Learning, Springer Verlag, Berlin, 2004, ISBN 3-540-43816-5
- [**Niemann, 1990**] Niemann, Heinrich: Pattern Analysis and Understanding, Springer Verlag, Berlin, 1990, ISBN 3-540-51378-7
- [**Niemann, 1983**] Niemann, Heinrich: Klassifikation von Mustern, Springer Verlag, Berlin, 1983, ISBN 3-540-12642-2
- [**Niemann, 1974**] Niemann, Heinrich: Methoden der Mustererkennung, Akademische Verlagsgesellschaft, Frankfurt am Main, 1974, ISBN 3-400-00213-5
- [**Oppenheim&Schafer, 1999**] Oppenheim, Alan V.; Schafer, Roland W.: Zeitdiskrete Signalverarbeitung; Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München, 1999, ISBN 3-486-24145-1
- [**Paulus, 1998**] Paulus, Erwin: Sprachsignalverarbeitung: Analyse, Erkennung, Synthese, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg Berlin, 1998, ISBN 3-86025-731-5
- [**Pehl, 2001**] Pehl, Erich: Digitale und analoge Nachrichtenübertragung. Signale, Codierung, Modulation, Anwendungen, Hüthig Verlag, Heidelberg, 2001, ISBN 3-7785-2801-7
- [**Pösl, 1999**] Pösl, Josef: Erscheinungsbasierte statistische Objekterkennung, Diss., Shaker Verlag, Aachen, 1999, ISBN 3-8265-4698-9
- [**Pohl, 1998**] Pohl, Christian: Methodik und Realisation von Systemen zur effizienten Wissensvermittlung durch Hypermedia, Diss., Peter Lang Europäischer Verlag der Wissenschaften, 1998, ISBN 3-631-33919-4
- [**Rettig, 1997**] Rettig, Katrin: Ansätze zur Realisierung intelligenter Lehrsysteme in der universitären Ausbildung – Eine interaktive Lernumgebung im Fachgebiet „Grundlagen der Elektrotechnik der TU Ilmenau, Verlag ISLE, 1997, Diss. 1997, ISBN 3-932633-13-X
- [**Rinn, 2004**] Rinn, Ulrike; Meister, Dorothee M.: Didaktik und Neue Medien. Konzept und Anwendungen in der Hochschule, Waxmann Verlag, Münster, 2004, ISBN 3-8309-1216-1
- [**Riser et al., 2002**] Riser, Urs; Keuneke, Jürgen; Freibichler, Hans; Hoffmann, Bruni: Konzeption und Entwicklung interaktiver Lernprogramme. Kompendium und multimedialer Workshop „Lernen interaktiv“, Springer Verlag, Berlin, 2002, ISBN 3-540-67437-3
- [**Sander, 1999**] Sander, Jörg: Mediengestütztes Bildungsmanagement: virtuelle Lernwelten für Unternehmen, Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 1999, ISBN 3-8244-9008-0
- [**Schade et al., 1992**] Schade, Hans-Peter; Lemcke, Jörg; Mekonnen, Moges, Bretschneider, Martin: Praktikumsunterlagen und Kurzbeschreibung des Signalanalysepaketes für die Signalerkennung, 1994, TU Ilmenau, FG Grundlagen der Elektrotechnik
- [**Schaub&Zenke, 1997**] Schaub, Horst; Zenke, Karl G.: Wörterbuch Pädagogik, Deutscher Taschenbuchverlag, München, 1997, ISBN 3-423-32510-0
- [**Schenkel et al., 2000**] Schenkel, Peter; Tergan, Sigmar-Olaf; Lottmann, Alfred: Qualitätsbeurteilung multimedialer Lern- und Informationssysteme. Evaluationsmethoden auf dem Prüfstand, Reihe: Multimediales Lernen in der Berufsausbildung, BW Bildung und Wissen Verlag, Nürnberg, 2000, ISBN 3-8214-7020-8
- [**Schiffmann&Heinrich, 2000**] Schiffmann, Richard S.; Heinrich, Günther: Multimedia-Projektmanagement. Von der Idee zum Produkt, Springer Verlag, Berlin, 2000, ISBN 3-540-67120-X

- [**Schmid&Kindsmüller, 1996**] Schmid, Ute; Kindsmüller, Martin Christof: Kognitive Modellierung. Eine Einführung in die logischen und algorithmischen Grundlagen, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 1996, ISBN 3-86025-367-0
- [**Scholz, 1997**] Scholz, Christian: Strategische Organisation, Verlag moderne industrie, Landsberg/Lech, 1997
- [**Schrüfer, 1992**] Schrüfer, Elmar: Signalverarbeitung: numerische Verarbeitung digitaler Signale (mit 35 Tabellen), Hanser Verlag, München, 1992, ISBN 3-446-16563-0
- [**Schüpbach et al., 2003**] Schüpbach, Evi; Guggenbühl, Urs; Krehl, Cornelia; Siegenthaler, Heinz; Kaufmann-Hayoz, Ruth: Didaktischer Leitfaden für E-Learning. h.e.p. Verlag, Bern, 2003, ISBN 3-905905-72-8
- [**Schürmann, 1996**] Schürmann, Jürgen: Pattern classification. A unified view of statistical and neural approaches, Wiley, New York, 1996, ISBN 0-471-13534-8
- [**Schulmeister, 2004**] Schulmeister, Rolf: Didaktisches Design aus hochschuldidaktischer Sicht – Ein Plädoyer für offene Lernsituationen, in: Rinn, U; Meister, D. M. (Hrsg.): Didaktik und Neue Medien: Konzepte und Anwendungen in der Hochschule, Waxmann Verlag, Münster, 2004, ISBN 3-8309-1216-1, S. 19-49
- [**Schulmeister, 2003**] Schulmeister, Rolf: Lernplattformen für das virtuelle Lernen. Evaluation und Didaktik, Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München, 2003, ISBN 3-486-27250-0
- [**Schulmeister, 2002**] Schulmeister, Rolf: Grundlagen hypermedialer Lernsysteme. Theorie – Didaktik – Design, Oldenbourg Verlag, München, 2002, ISBN 3-486-25864-8
- [**Schweibenz&Thissen, 2003**] Schweibenz, Werner; Thissen, Frank: Qualität im Web: benutzerfreundliche Webseiten durch Usability Evaluation, Springer Verlag, Berlin, 2003, ISBN 3-540-41371-5
- [**Serridge&Licht, 1990**] Serridge, Mark; Licht, Torben R.: Piezoelektrische Beschleunigungsaufnehmer und Vorverstärker. Theorie und Anwendung, Brüel & Kjaer, 1990
- [**Seufert&Mayr, 2002**] Seufert, Sabine; Mayr, Peter: Fachlexikon ele@rning >> Wegweiser durch das e-Vokabular, Gerhard May Verlags GmbH, Bonn, 2002, ISBN 3-931488-64-0
- [**Späth, 1977**] Späth, Helmuth: Cluster-Analyse-Algorithmen zur Objektklassifizierung und Datenreduktion, Oldenbourg Verlag, 1977, ISBN 3-486-39912-8
- [**Stadler, 2000**] Stadler, Erich: Modulationsverfahren. Analoge und digitale Modulation in der elektrischen Nachrichtentechnik, Vogel Buchverlag, 2000, ISBN 3-8023-1840-4
- [**Stearns&Hush, 1999**] Stearns, Samuel D.; Hush, Don R.: Digitale Verarbeitung analoger Signale. Digital Signal Analysis, R. Oldenbourg Verlag, München, Wien, 1999, ISBN 3-486-24528-7
- [**Steinhagen&Fuchs, 1976**] Steinhagen, Hans-Egon; Fuchs, Siegfried: Objekterkennung. Eine Einführung in die mathematischen Methoden der Zeichenerkennung, VEB Verlag Technik, Berlin, 1976
- [**Steinhausen, 1977**] Steinhausen, Detlef: Clusteranalyse: Einführung in Methoden und Verfahren der automatischen Klassifikation, Walter de Gruyter & Co., Berlin, 1977, ISBN 3-11-007054-5
- [**Steinmetz, 1999**] Steinmetz, Ralf: Multimedia-Technologie. Grundlagen, Komponenten und Systeme, Springer Verlag, Berlin, 1999, ISBN 3-540-62060-5
- [**Strampp, 2004**] Strampp, Walter; Vorozcov, Evgenij: Mathematische Methoden der Signalverarbeitung, Oldenbourg Verlag, München, 2004, ISBN 3-486-27457-0
- [**Strzebkowski&Kleeberg, 2002**] Strzebkowski, Robert; Kleeberg, Nicole: Interaktivität und Präsentation als Komponenten multimedialer Lernanwendungen in: Klimsa, P.; Issing, L.J. (Hrsg.): Information und Lernen mit Multimedia und Internet, Verlagsgruppe Beltz, Psychologie Verlags Union, Weinheim, 2002, S. 229-245, ISBN 3-621-27449-9
- [**Tagungsband5, 2002**] Tagungsband 5. Workshop „Multimedia für Bildung und Wirtschaft“, 27./28.09.2001, 6. Workshop: 26./27.09.2002, TU Ilmenau, Fachgebiete GET, Konstruktionstechnik, Medienkonzept/Digitale Medien, ISSN 1436-4492, (2001/2002), Herausgeber: Rektor der TUI
- [**Tergan&Schenkel, 2004**] Tergan, Sigmar-Olaf; Schenkel, Peter: „Was macht E-Learning erfolgreich? Grundlagen und Instrumente der Beurteilung“, Springer Verlag, Berlin 2004, ISBN 3-540-20676-0

- [**Tietze&Schenk, 1990**] Tietze, Ulrich; Schenk, Christoph: Halbleiter-Schaltungstechnik, Springer Verlag, Berlin, 1990, ISBN 3-540-19475-4
- [**Thissen, 1997**] Thissen, Frank: Das Lernen neu erfinden. Grundlagen einer konstruktivistischen Multimedia-Didaktik, in: Beck, U.; Sommer, W. (Hrsg.): LearnTec 97, Tagungsband, Karlsruhe, 1997, S. 69-79
- [**Vary, 1998**] Vary, Peter; Heute Ulrich; Hess, Wolfgang: Digitale Sprachsignalverarbeitung, Teubner-Verlag, Stuttgart, 1998, ISBN 3-519-06165-1
- [**Walter, 2000**] Walter, Peter: Verfahren der sequentiellen Merkmalanalyse für die Mustererkennung, Shaker Verlag, Aachen, 2000, Dissertation, ISBN 3-8265-7538-5
- [**Webers, 2003**] Webers, Johannes: Handbuch der Tonstudioteknik, Franzis Verlag GmbH, Poing, 2003, ISBN 3-7723-5528-5
- [**Wedekind, 1981**] Wedekind, Joachim: Unterrichtsmedium Computersimulation, Lexika Verlag, 1981, Weil der Stadt/Württ (broschiert)
- [**Weidauer, 2002**] Weidauer, Christian: Multimediale Lehr- und Lernsysteme. Effiziente Aufgaben- und Animationserstellung, Diss., Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 2002, ISBN 3-8274-1321-4
- [**Weidenmann, 2002**] Weidenmann, Bernd: Mulicodierung und Multimodalität im Lernprozess, in: Issing, L., Klimsa, P. (Hrsg.): Information und Lernen mit Multimedia und Internet, 3. vollst. überarbeitete Auflage; S. 45-62; Beltz Psychologie-Verlags-Union; Weinheim, 2002, ISBN 3-621-27449-9
- [**Weidenmann, 1994a**] Weidenmann, Bernd (Hrsg.): Wissenserwerb mit Bildern. Instruktionale Bilder in Printmedien, Film/Video und Computerprogrammen, Verlag Hans Huber, Bern, 1994, ISBN 3-456-82415-7
- [**Weidenmann, 1994b**] Weidenmann, Bernd: Lernen mit Bildmedien: psychologische und didaktische Grundlagen, Beltz Verlags; Weinheim, 1994, ISBN 3-407-36015-0
- [**Weinrichter&Hlawatsch, 1991**] Weinrichter, Hans; Hlawatsch, Franz: Stochastische Grundlagen nachrichtentechnischer Signale, Springer Verlag, Wien, 1991, ISBN 3-211-82303-4
- [**Weizenbaum, 1976**] Weizenbaum Joseph: Die Macht der Computer und die Ohnmacht der Vernunft, Suhrkamp Taschenbuch Verlag, Frankfurt a.M., 1977, Titel der Originalausgabe: Computer Power and Human Reason (1976), ISBN 3-518-27874-6
- [**Wendemuth, 2004**] Grundlagen der digitalen Signalverarbeitung. Ein mathematischer Zugang, Springer Verlag, Berlin, 2004, ISBN 3-540-21885-8
- [**Werner, 2001**] Werner, Martin; Mildenberg, Otto (Hrsg.): Digitale Signalverarbeitung mit MATLAB. Ein Praktikum mit 16 Versuchen, Verlag Vieweg, Braunschweig, 2001, ISBN 3-528-03930-2
- [**Wolfram, 1999**] Wolfram, Stephen: The Mathematica Book, Wolfram Media, 1999, ISBN 0-521-64314-7
- [**Wucherer, 2002**] Wucherer, Klaus: VDE-Grundpositionen zur Ingenieurausbildung, Vortrag beim Kolloquium des Hochschullehrerverbandes am 13. Juni 2002 von Prof. Dr.-Ing. K. Wucherer. VDE-Präsident und Mitglied des Zentralvorstandes der Siemens AG, Link: <http://www.vde.de>
- [**Yakimchuk, 2005**] Yakimchuk, Vera: Entwicklung einer intelligenten computerunterstützten Lernumgebung für die elektrotechnische Grundlagenausbildung, eingereichte Diss., TU Ilmenau, 2005
- [**Zimmer, 2002**] Zimmer, Gerhard: Mit Telematik vom Fernunterricht zum Offenen Telelernen. in Issing&Klimsa: Informationen und Lernen mit Multimedia und Internet. Lehrbuch für Studium und Praxis, BELTZ PsychologieVerlagsUnion, 2002, ISBN 3-621-27449-9
- [**Zimmermann, 2003**] Zimmermann, Klaus: Technische Mechanik - multimedial. Übungsbuch mit Multimedia-Software, Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, München, 2003, ISBN 3-446-22535-8
- [**Zollner, 1998**] Zollner, Manfred; Zwicker, Eberhard: Elektroakustik, Springer Verlag, Berlin, 1998, ISBN 3-540-64665-5

**Internet-Links** (letzter Zugriff 30.09.2005)

- [adLexikonVirtuell] <http://virtuell.adlexikon.de/Virtuell.shtml>
- [BeatsBiblionetz] <http://beat.doebe.li/bibliothek>
- [ct\_Lanier] <http://www.heise.de/ct/95/06/068>
- [DasyLab] <http://volt.ni.com/niwc/dasylab/features.jsp>
- [DefSimulation] [http://www.iwb.tum.de/Definition\\_\\_Simulation.html](http://www.iwb.tum.de/Definition__Simulation.html)
- [Elan] <http://www.l3s.de/elan/kb3/index.php>
- [ElectronicWorkbench] <http://www.electronicworkbench.com>
- [GenLab] <http://www.offis.de/genlab>
- [GETsoft] <http://www.getsoft.net/>
- [GETsoftFourierReihe] [http://getsoft.net/\\_fouriertest/index.html](http://getsoft.net/_fouriertest/index.html)
- [GlossarSimulation] <http://www.learn-line.nrw.de/angebote/modell/bevchina/glossar.htm>
- [IEEE] <http://www.ieee.org>
- [IGEL] <http://www.iim.uni-giessen.de/GlobalInfo/allgemein/default.htm>
- [iJOE] <http://www.i-joe.org/>
- [Interaktiva2003] <http://www.interaktiva.info/inhalt.htm>
- [LabView] <http://www.ni.com/labview/>
- [Langenscheidt] <http://www.langenscheidt.de>
- [Lernkontrolle] <http://leguan.emp.paed.uni-muenchen.de/strategien/lernkontrolle>
- [LernpsychInteraktiv] <http://www.uni-essen.de/edit/lernen>
- [Lerntheorien] <http://tip.psychology.org/theories.html>
- [Mathematica] <http://www.wolfram.com>
- [MenschMensch] [http://www.lrz-muenchen.de/~piiseminar/0712mensch\\_mensch.htm](http://www.lrz-muenchen.de/~piiseminar/0712mensch_mensch.htm)
- [MITSimulation] [http://www.mit.de/downloads/Simulation\\_BMW.pdf](http://www.mit.de/downloads/Simulation_BMW.pdf)
- [SchulmeisterInteraktivität] [http://www.izhd.uni-hamburg.de/pdfs/Interaktivitaet\\_Gebaerden.pdf](http://www.izhd.uni-hamburg.de/pdfs/Interaktivitaet_Gebaerden.pdf)
- [Stangl] <http://www.stangl-taller.at/>
- [UniGiessenKonferenz] <http://www.zmi.uni-giessen.de/home/konferenz-mission.php>
- [VDE] <http://www.vde.de>
- [Wikipedia] <http://www.wikipedia.org>

## Anhang

**Anhang A    Komponenten und Aktionsformen**

**Anhang B    Druckbeispiele**

**Anhang C    Funktionswerkstatt**

## Informationsseiten flacher Hierarchie mit schwacher Verknüpfung

Navigation innerhalb der Seite

Aufruf zusätzlicher Informationen in Popup-Fenstern

Geräuschartstehung und Signalaufnahme

**Seiteninhalt:**

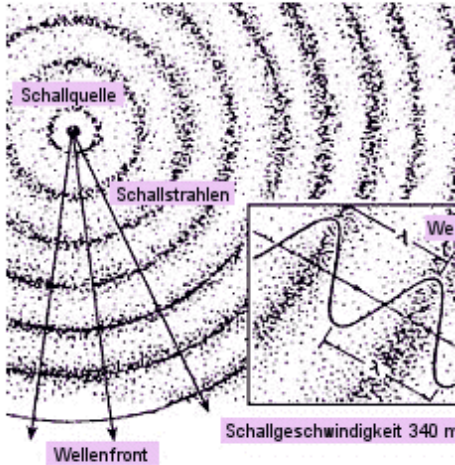
- ▼ [Schallwellen](#)
- ▼ [Körperschall](#)
- ▼ [Körperschallmessung](#)
- ▼ [Aufnahmetechnik](#)
- ▼ [Luftschall](#)
- ▼ [Luftschallmessung](#)
- ▼ [Aufnahmetechnik](#)
- ▼ [Literaturhinweis](#)
- ▼ [Pegelbeispiele...](#)
- ▼ [Hörbereiche...](#)

▲

### Schallwellen

Schallwellen sind Druckschwankungen in einem elastischen Medium (gasförmig, flüssig oder fest). Einzelne Moleküle des Mediums geraten durch äußere Anregung aus ihrer Gleichgewichtslage und schwingen um ihren Ruhezustand periodisch hin und her. Durch Anstoßen benachbarter Teilchen wird die Bewegung übertragen. Es kommt zur Verdichtung und Verdünnung der Materie und zur Fortpflanzung des Schalls.

- Treten diese Schwingungen in **Luft** auf, spricht man von [Luftschall](#).
- Breiten sich Schwingungen in **festen Körpern** aus, nennt man dies [Körperschall](#).
- Auch in **Flüssigkeiten** kann sich Schall ausbreiten (Messung mittels Hydrophonen).
- Im **Vakuum** gibt es **keine** Schallausbreitung, da keine Materie vorhanden ist.



Quelle: Bayrisches Landesamt für Umwelt

## Informationseinheiten mit aufeinander aufbauenden Seiten mit starker Verknüpfung

Navigation innerhalb eines Themas mit mehreren aufeinander aufbauenden Seiten

### Darstellung periodischer Funktionen durch Fourier-Reihen

<< < 1 2 3 4 5 6 7 > >>

#### Komplexe Fourier-Reihe

Eine gleichwertige Darstellung der Fourier-Reihe nach Gleichung (15) ist der Ansatz

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \underline{C}_n e^{jn\omega t}$$

Mit den Zerlegungen über die **Eulersche Formel**

$$\cos(n\omega t) = \frac{1}{2} (e^{jn\omega t} + e^{-jn\omega t}) = \frac{1}{2} e^{jn\omega t} + \frac{1}{2} e^{-jn\omega t}$$

$$\sin(n\omega t) = \frac{1}{2j} (e^{jn\omega t} - e^{-jn\omega t}) = -j\frac{1}{2} e^{jn\omega t} + j\frac{1}{2} e^{-jn\omega t}$$

erhält man für die Gleichung

$$f(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left( \frac{1}{2} (a_n - jb_n) e^{jn\omega t} + \frac{1}{2} (a_n + jb_n) e^{-jn\omega t} \right)$$

Aufruf zusätzlicher Informationsseiten in Popup-Fenstern

Beispiel für die Anzeige von Inhalten aus den Informationssammlungen

Aufruf und Anzeige innerhalb der Formelsammlung

**Formelsammlung**

Trigonometrische Zusammenhänge
 

Fourier-Koeffizienten  
 Fourier-Reihen zur Darstellung periodischer Funktionen  
**Integraltabellen**  
 Trigonometrische Zusammenhänge

---

**Additionstheoreme**

$$\sin(\alpha + \beta) = \sin \alpha \cos \beta + \cos \alpha \sin \beta$$

$$\sin(\alpha - \beta) = \sin \alpha \cos \beta - \cos \alpha \sin \beta$$

$$\cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta$$

$$\cos(\alpha - \beta) = \cos \alpha \cos \beta + \sin \alpha \sin \beta$$

$$\sin \alpha \sin \beta = \frac{1}{2}(\cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta))$$

Aufruf aus einer beliebigen Seite und Anzeige im Popup-Fenster

Zur Veranschaulichung ersetzt man die Produkte über die [Additionstheoreme](#)

$$I_1 = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} \frac{1}{2} (\sin((m+n)\omega t) + \sin((m-n)\omega t)) dt$$

$$I_2 = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} \frac{1}{2} (\cos((m-n)\omega t) - \cos((m+n)\omega t)) dt$$

$$I_2 = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} \frac{1}{2} (\cos((m-n)\omega t) - \cos((m+n)\omega t)) dt$$

$$I_3 = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} \frac{1}{2} (\cos((m+n)\omega t) + \cos((m-n)\omega t)) dt$$

$$I_3 = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} \frac{1}{2} (\cos((m+n)\omega t) + \cos((m-n)\omega t)) dt$$

Additionstheoreme - Microsoft Inte...

---

**Additionstheoreme**

$$\sin(\alpha + \beta) = \sin \alpha \cos \beta + \cos \alpha \sin \beta$$

$$\sin(\alpha - \beta) = \sin \alpha \cos \beta - \cos \alpha \sin \beta$$

$$\cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta$$

$$\cos(\alpha - \beta) = \cos \alpha \cos \beta + \sin \alpha \sin \beta$$

$$\sin \alpha \sin \beta = \frac{1}{2}(\cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta))$$

$$\sin \alpha \cos \beta = \frac{1}{2}(\sin(\alpha + \beta) + \sin(\alpha - \beta))$$

$$\cos \alpha \sin \beta = \frac{1}{2}(\sin(\alpha + \beta) - \sin(\alpha - \beta))$$

$$\cos \alpha \cos \beta = \frac{1}{2}(\cos(\alpha + \beta) + \cos(\alpha - \beta))$$



## Screen-Shot der Animation zur Fourier-Synthese einer Rechteckfunktion

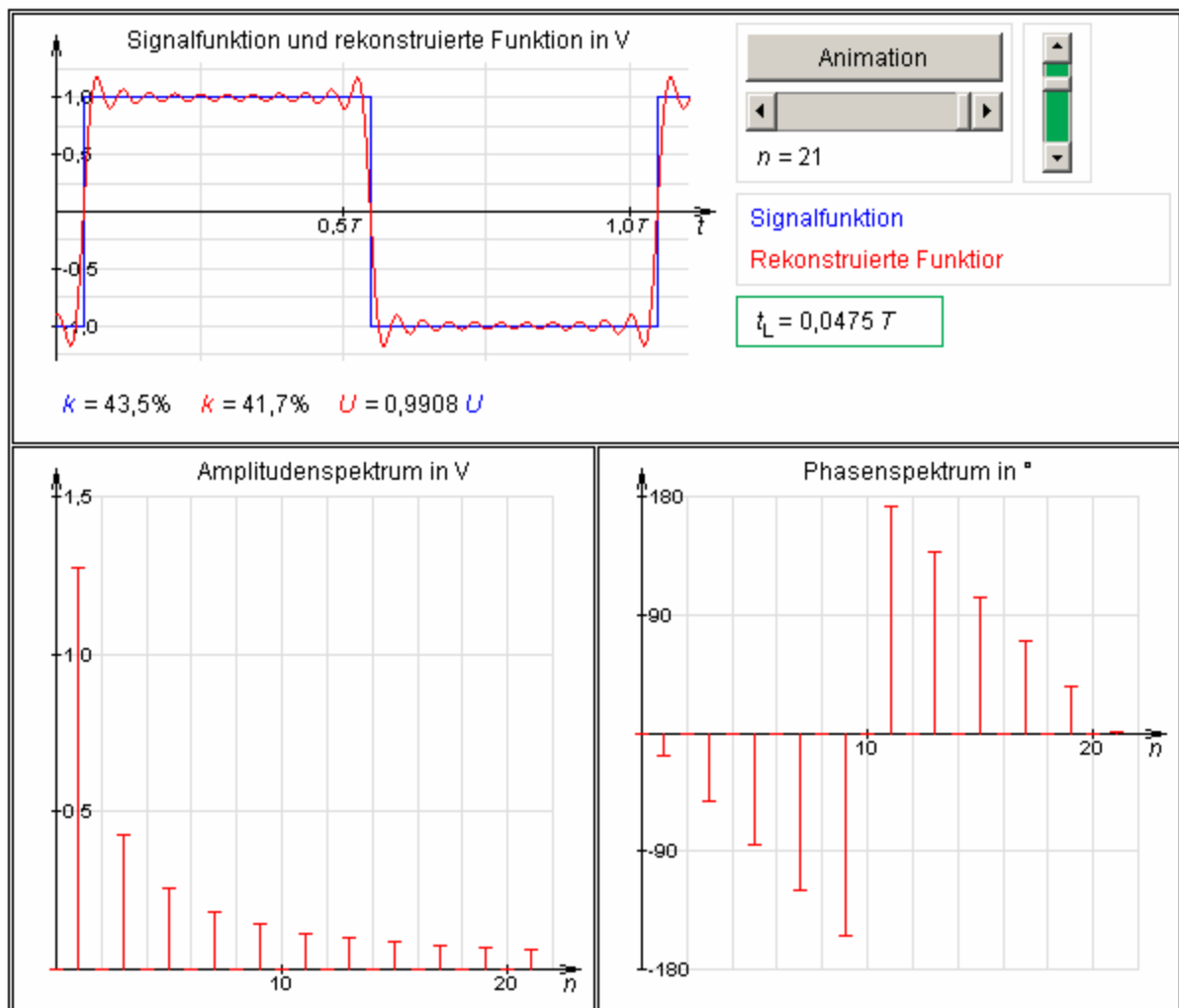
**Fourier-Synthese der Rechteckfunktion**

Unter der Fourier-Synthese versteht man die Rekonstruktion der nichtsinusförmigen periodischen Funktion

$$f(t) = f(t \pm nT), \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$$

aus dem Gleichanteil  $A_0$  und der (endlichen) Summe von Harmonischen gemäß der Gleichung:

$$f(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin(n\omega t + \varphi_n)$$

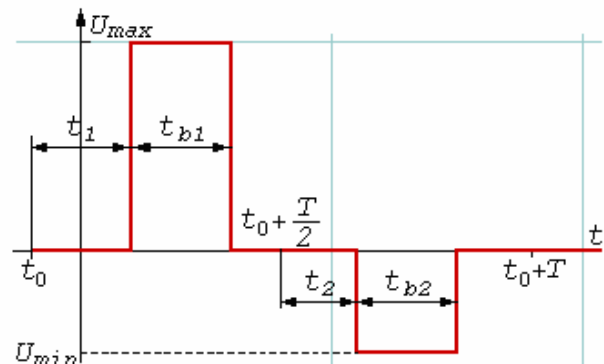


Applet aus: Experimentierumgebung, Lernprogramm Fourier-Reihe, GETSoft, TU Ilmenau

## Screen-Shot einer interaktiven Experimentierumgebung

**Fourier-Reihe der Rechteckfunktion (interaktiv)**

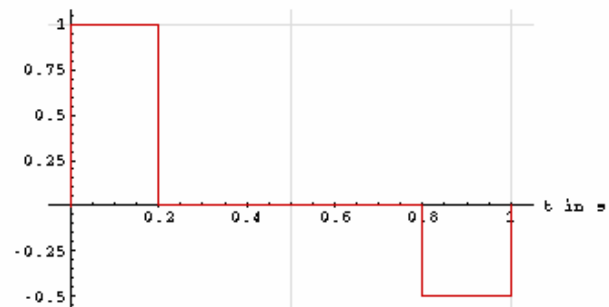
1. Für eine beliebige Rechteckfunktion sind anhand der nebenstehenden Grafik die Parameter festzulegen.
2. Anschließend sind die Fourier-Koeffizienten bzw. das Amplituden- und das Phasenspektrum zu bestimmen.
3. Anschließend ist das Ergebnis mittels Fourier-Synthese zu überprüfen.



**zu 1.** Eingabe der Rechteck-Parameter und Darstellung der zugehörigen Rechteckfunktion:

$T$  in s:   
 $t_0$  in s:   
 $U_{\max}$ :   
 $U_{\min}$ :   
 $t_1$ :   
 $t_{b1}$ :   
 $t_2$ :   
 $t_{b2}$ :

Anzeigen >>



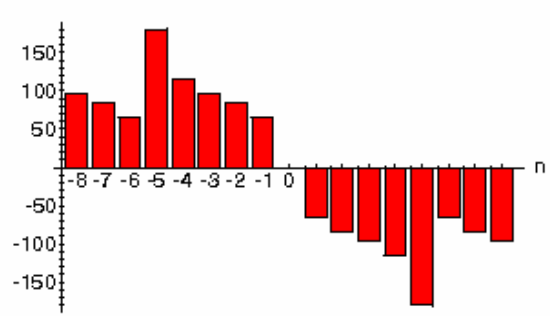
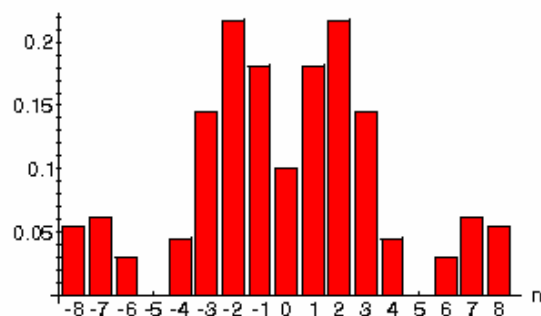
**zu 2.** Berechnung des Amplituden- und des Phasenspektrum aus den komplexen Fourierkoeffizienten:

Harmonische:

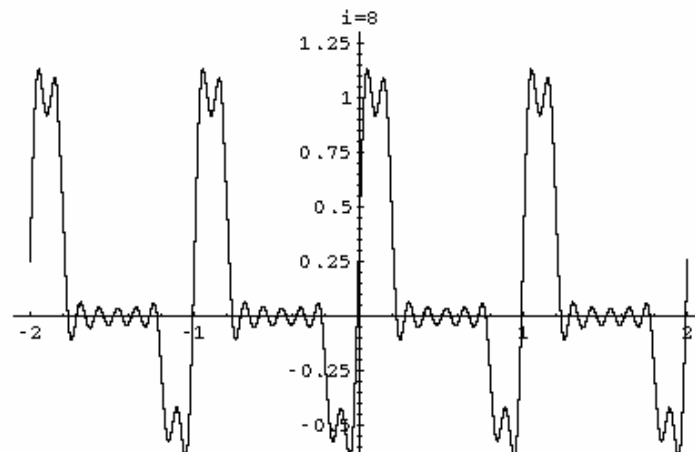
Berechnen/Anzeigen

Amplitudenspektrum aus der komplexen Fourierreihe

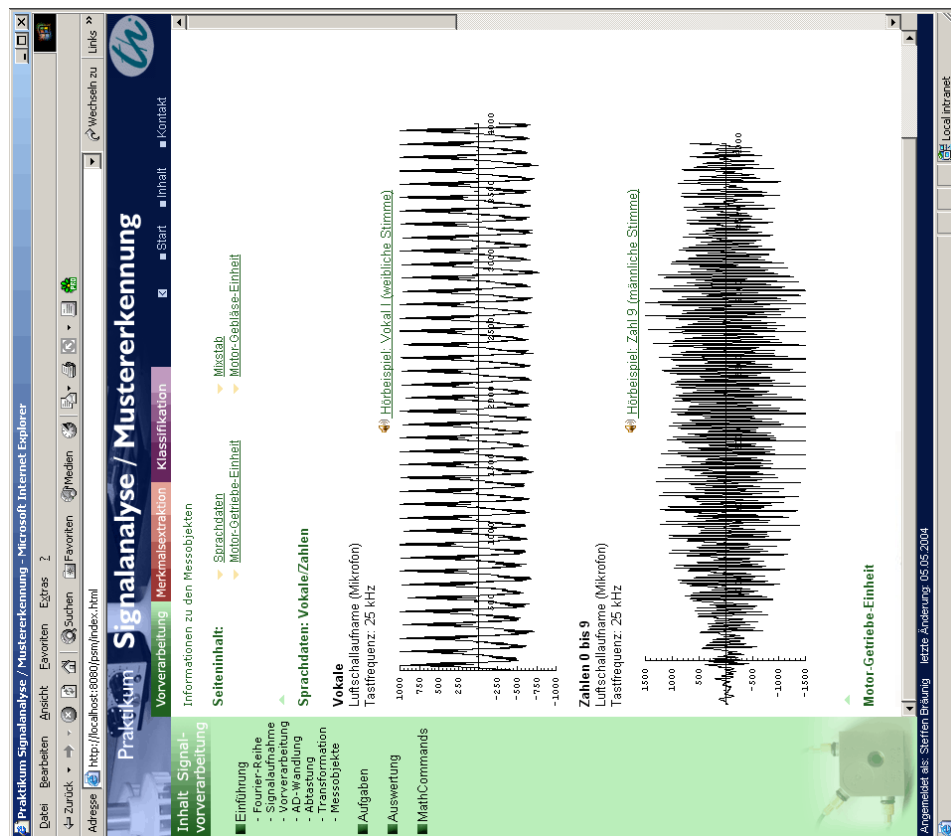
Phasenspektrum aus der komplexen Fourierreihe



**zu 3.** Rekonstruktion der Rechteckfunktion aus dem Gleichanteil und der Summe der Harmonischen:



Screen-Shot: Informationen zu den Messobjekten

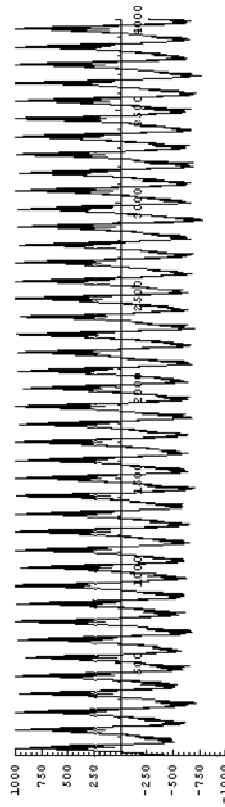


Druckversion: Informationen zu den Messobjekten

### Sprachdaten: Vokale/Zahlen

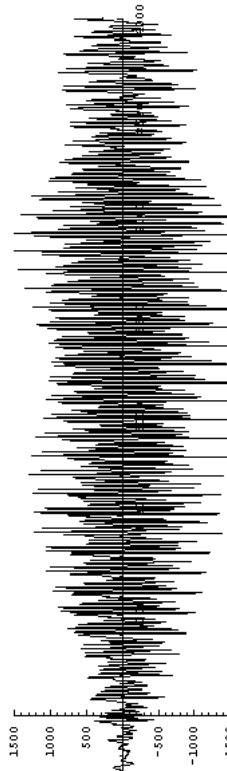
#### 1. Beispiel: Aufnahme gesprochener Vokale

Luftschallsignal: Aufnahme mit einem Mikrofon bei einer Tastfrequenz von 25 kHz  
Darstellung des Signalverlaufes des Vokals "i" von weiblicher Sprecherin



#### 2. Beispiel: gesprochene Zahlen (von 0 bis 9)

Luftschallsignal: Aufnahme mit einem Mikrofon bei einer Tastfrequenz von 25 kHz  
Darstellung des Signalverlaufes der Zahl "9" von männlichem Sprecher



### Maschinengeräusche

#### 1. Beispiel: Motor-Getriebe-Einheit



**Alles-Schneider-Getriebe** (Schneckengetriebe)  
Signalaufnahme als Körperschall mit  
Beschleunigungsaufnehmern

Unterscheidung in:

- Klasse "Gut" und
  - Schadklasse "Schlecht"
- (mit Schraubenradgeräusch und  
Magnetgeräusch)

Praktikum Signalanalyse / Mustererkennung

Inhalt: Signalvorverarbeitung

- Fourier-Reihe
- Vorverarbeitung
- AD-Wandlung
- Abtastung
- Messobjekte

Aufgaben

- Auswertung
- MathCommands

Darstellung periodischer Funktionen durch Fourier-Reihen

**Beispiele:**

2. Komplexe Fourier-Reihe der Rechteckfunktion

Es sollen die komplexen Fourier-Koeffizienten der Rechteckfunktion berechnet werden.

Die Funktion wird wie folgt beschrieben:

$$u(t) = +U_{\max} \quad 0 < t < \frac{T}{2}$$

$$u(t) = -U_{\max} \quad \frac{T}{2} < t < T$$

Der Gleichanteil der Funktion ist Null:  $A_0 = 0$

Die komplexen Koeffizienten berechnen sich folgendermaßen:

$$C_n = \frac{1}{T} \left[ \int_0^{\frac{T}{2}} U_{\max} e^{jn\omega t} dt + \int_{\frac{T}{2}}^T (-U_{\max}) e^{jn\omega t} dt \right]$$

$$C_n = \frac{U_{\max}}{T} \left[ \frac{e^{jn\omega t}}{jn\omega} \Big|_0^{\frac{T}{2}} - \frac{e^{jn\omega t}}{jn\omega} \Big|_{\frac{T}{2}}^T \right]$$

$$= \frac{U_{\max}}{jn\omega T} \left( e^{jn\omega \frac{T}{2}} - 1 - e^{jn\omega T} + e^{jn\omega \frac{T}{2}} \right)$$

$$= j \frac{U_{\max}}{2n\pi} \left( 2e^{jn\pi} - 1 - e^{jn2\pi} + 1 \right)$$

Wegen

$$e^{jn\pi} = -1, \quad n = \pm 1, \pm 3, \pm 5, \dots$$

$$e^{jn\pi} = +1, \quad n = \pm 2, \pm 4, \pm 6, \dots$$

$$e^{jn2\pi} = +1, \quad n = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$$

folgt

$$C_n = -j \frac{U_{\max}}{n\pi}, \quad n = \pm 1, \pm 3, \pm 5, \dots$$

$$C_0 = 0.$$

Für  $C_0$  folgt aus Gleichung (20)

Aus obigem Ergebnis erhält man für  $n = 0/0$  und wendet die Regel von Bernoulli und de l'Hospital an: Der Quotient der ersten Ableitungen des Zählerterms und Nennerterms nach  $n$  wird gebildet und  $n = 0$  eingesetzt.

## Komplexe Fourier-Reihe der Rechteckfunktion

Es sollen die komplexen Fourier-Koeffizienten der Rechteckfunktion berechnet werden.

Die Funktion wird wie folgt beschrieben:

$$u(t) = +U_{\max} \quad 0 < t < \frac{T}{2}$$

$$u(t) = -U_{\max} \quad \frac{T}{2} < t < T$$

Der Gleichanteil der Funktion ist Null:  $A_0 = 0$

Die komplexen Koeffizienten berechnen sich folgendermaßen:

$$C_n = \frac{1}{T} \left[ \int_0^{\frac{T}{2}} U_{\max} e^{jn\omega t} dt + \int_{\frac{T}{2}}^T (-U_{\max}) e^{jn\omega t} dt \right]$$

$$C_n = \frac{U_{\max}}{T} \left[ \frac{e^{jn\omega t}}{jn\omega} \Big|_0^{\frac{T}{2}} - \frac{e^{jn\omega t}}{jn\omega} \Big|_{\frac{T}{2}}^T \right]$$

$$= \frac{U_{\max}}{jn\omega T} \left( e^{jn\omega \frac{T}{2}} - 1 - e^{jn\omega T} + e^{jn\omega \frac{T}{2}} \right)$$

$$= j \frac{U_{\max}}{2n\pi} \left( 2e^{jn\pi} - 1 - e^{jn2\pi} + 1 \right)$$

$$n = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$$

Wegen

$$e^{jn\pi} = -1, \quad n = \pm 1, \pm 3, \pm 5, \dots$$

$$e^{jn\pi} = +1, \quad n = \pm 2, \pm 4, \pm 6, \dots$$

$$e^{jn2\pi} = +1, \quad n = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$$

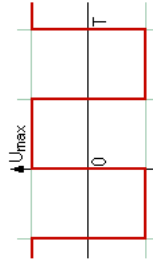
folgt

$$C_n = -j \frac{U_{\max}}{n\pi}, \quad n = \pm 1, \pm 3, \pm 5, \dots$$

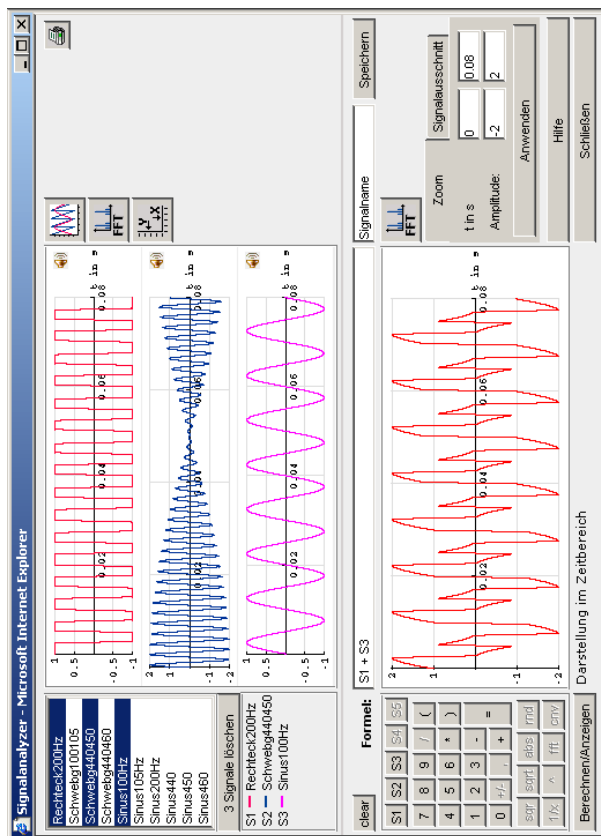
$$C_0 = 0.$$

Für  $C_0$  folgt aus Gleichung (20)

Aus obigem Ergebnis erhält man für  $n = 0/0$  und wendet die Regel von Bernoulli und de l'Hospital an: Der Quotient der ersten Ableitungen des Zählerterms und Nennerterms nach  $n$  wird gebildet und  $n = 0$  eingesetzt.



Screen-Shot: Signalanalyser



Druckversion: Signalanalyser

Praktikum Signal- und Mustererkennung – Signalvorverarbeitung  
 Bearbeiter: Max Meier  
 Datum: 12.07.2005

## Druckansicht des Signal-Analyser

| Signalparameter:                                                                                           | Darstellung: |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| <b>S1</b><br>Signalname: Recteck200Hz<br>Beschreibung: null<br>Tastfrequenz: 2500.0<br>Signallänge: 0.5 s  |              |
| <b>S2</b><br>Signalname: Schwebg440450<br>Beschreibung: null<br>Tastfrequenz: 5000.0<br>Signallänge: 0.5 s |              |
| <b>S3</b><br>Signalname: Sinus100Hz<br>Beschreibung: null<br>Tastfrequenz: 2500.0<br>Signallänge: 0.5 s    |              |
| Formel:                                                                                                    | S1 + S3      |
| Ergebnisdarstellung                                                                                        |              |

## Notizen:

Additive Verknüpfung eines Rechteck (200 Hz) mit einem Sinus (100 Hz)

## Screen-Shot: Aufgabe Schwebung

Druckversion: Aufgabe Schwebung

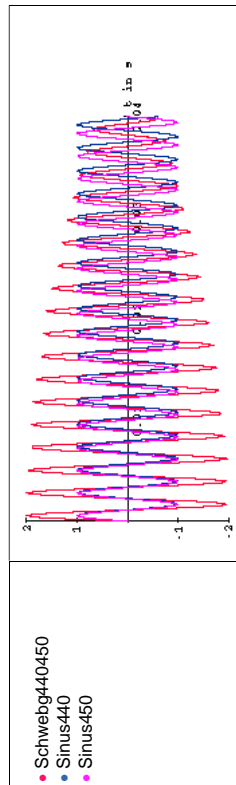
Praktikum Signal- und Mustererkennung – Signalvorverarbeitung - Vorbereitungsaufgaben  
 Bearbeiter: Max Mustermann  
 Datum: 12.07.2005

## Es soll das Phänomen der Schwebung demonstriert werden!

## Aufgabe:

Erzeugen Sie zwei geeignete Sinussignale mit dem Funktionsgenerator, mit denen das Phänomen "Schwebung" demonstriert werden kann. Wählen Sie die Abtastfrequenz hinreichend hoch und beachten Sie, dass beide Signale mit der gleichen Abtastfrequenz abgetastet werden. Verknüpfen Sie sie anschließend im Signalanalyzer so, dass eine Schwebung entsteht!

## Ergebnis:



Praktikum Signalanalyse / Mustererkennung - Microsoft Internet Explorer

Adresse: http://localhost:8080/jsp/index.html

Praktikum Signalanalyse / Mustererkennung

Vorverarbeitung | Merkmalsextraktion | Klassifikation

Vorbereitungsaufgaben > Aufgabe: Schwebung > Erzeugen Sie...

Es soll das Phänomen der Schwebung demonstriert werden!

**Aufgabe:** Erzeugen Sie zwei geeignete Sinussignale mit dem Funktionsgenerator, mit denen das Phänomen "Schwebung" demonstriert werden kann. Wählen Sie die Abtastfrequenz hinreichend hoch und beachten Sie, dass beide Signale mit der gleichen Abtastfrequenz abgetastet werden. Verknüpfen Sie sie anschließend im Signalanalyzer so, dass eine Schwebung entsteht!

**Geräte:**

**Eingabe Ergebnisse:** Wählen Sie die 3 von Ihnen erzeugten Signale aus der Liste aus und speichern Sie anschließend!

Rechteck200Hz  
 Schwebg100105  
 Schwebg40450  
 Sinus100Hz  
 Sinus105Hz  
 Sinus200Hz  
 Sinus440  
 Sinus450

Legend:

- Schwebg40450
- Sinus440
- Sinus450

Argemeldet als: Stefan Bräutigam - letzte Änderung: 05.05.2004

Fertig

Screen-Shot: Beispiel aus der Formelsammlung

Praktikum Signalanalyse / Mustererkennung - Microsoft Internet Explorer

Adresse: http://localhost:8080/psm/index.html

Praktikum Signalanalyse / Mustererkennung

Vorverarbeitung Merkmalsextraktion Klassifikation

Inhaltsübersicht Formelsammlung

Integraltabelle

Grundlagen Datensätze

Integraltabelle

$$\int \sin(ax) dx = -\frac{\cos(ax)}{a}$$

$$\int \cos(ax) dx = \frac{\sin(ax)}{a}$$

$$\int \sin^2(ax) dx = \frac{x}{2} - \frac{\sin(2ax)}{4a}$$

$$\int \cos^2(ax) dx = \frac{x}{2} + \frac{\sin(2ax)}{4a}$$

$$\int \sin(ax) \cos(ax) dx = -\frac{\cos(2ax)}{4a}$$

$$\int \sin(ax) \sin(bx) dx = \frac{1}{a^2 - b^2} (b \sin(ax) \cos(bx) - a \cos(ax) \sin(bx))$$

$$\int \cos(ax) \cos(bx) dx = \frac{1}{a^2 - b^2} (-b \sin(ax) \sin(bx) - a \cos(ax) \cos(bx))$$

$$\int \cos(ax) \cos(bx) dx = \frac{1}{a^2 - b^2} (a \sin(ax) \cos(bx) - b \cos(ax) \sin(bx))$$

$$\int x \sin(ax) dx = -\frac{\sin(ax)}{a^2} - \frac{x \cos(ax)}{a}$$

$$\int x \cos(ax) dx = \frac{\cos(ax)}{a^2} + \frac{x \sin(ax)}{a}$$

$$\int e^{ax} dx = \frac{e^{ax}}{a}$$

$$\int x e^{ax} dx = \frac{e^{ax}}{a^2} (ax - 1)$$

$$\int e^{ax} \sin(bx) dx = \frac{e^{ax}}{a^2 + b^2} [a \sin(bx) - b \cos(bx)]$$

$$\int e^{ax} \cos(bx) dx = \frac{e^{ax}}{a^2 + b^2} [a \cos(bx) + b \sin(bx)]$$

$$\int x^n dx = \frac{x^{n+1}}{n+1}$$

Angemeldet als: Stefan Ehrhard letzte Änderung: 05.05.2004

Druckversion: Beispiel aus der Formelsammlung

Praktikum Signal- und Mustererkennung - Formelsammlung

## Integraltabelle

$$\int \sin(ax) dx = -\frac{\cos(ax)}{a}$$

$$\int \cos(ax) dx = \frac{\sin(ax)}{a}$$

$$\int \sin^2(ax) dx = \frac{x}{2} - \frac{\sin(2ax)}{4a}$$

$$\int \cos^2(ax) dx = \frac{x}{2} + \frac{\sin(2ax)}{4a}$$

$$\int \sin(ax) \cos(ax) dx = -\frac{\cos(2ax)}{4a}$$

$$\int \sin(ax) \sin(bx) dx = \frac{1}{a^2 - b^2} (b \sin(ax) \cos(bx) - a \cos(ax) \sin(bx))$$

$$\int \sin(ax) \cos(bx) dx = \frac{1}{a^2 - b^2} (-b \sin(ax) \sin(bx) - a \cos(ax) \cos(bx))$$

$$\int \cos(ax) \cos(bx) dx = \frac{1}{a^2 - b^2} (a \sin(ax) \cos(bx) - b \cos(ax) \sin(bx))$$

$$\int x \sin(ax) dx = -\frac{\sin(ax)}{a^2} - \frac{x \cos(ax)}{a}$$

$$\int x \cos(ax) dx = \frac{\cos(ax)}{a^2} + \frac{x \sin(ax)}{a}$$

$$\int e^{ax} dx = \frac{e^{ax}}{a}$$

$$\int x^n dx = \frac{x^{n+1}}{n+1}$$

$$\int x e^{ax} dx = \frac{e^{ax}}{a^2} (ax - 1)$$


$$\int e^{ax} \sin(bx) dx = \frac{e^{ax}}{a^2 + b^2} [a \sin(bx) - b \cos(bx)]$$

$$\int e^{ax} \cos(bx) dx = \frac{e^{ax}}{a^2 + b^2} [a \cos(bx) + b \sin(bx)]$$

Entwurf für das Pflegeformular zur Integration von Mathematica-Code in die Lernumgebung vPSM am Beispiel der *ListPlot*-Funktion

**Pflegeformular für die Funktionswerkstatt**

Funktionsname:  Returntype:  Returnproperty:

Parameter  1. Parametername:  default:

2. Parametername:  default:

Mathematica-Code:

```
tAbtast = N[1/tastfrequenz];
abtastwerte = Length[signaldata];
datalist2d=Table[{(t - 1) * tAbtast, signaldata[[t]] }, { t, 1, abtastwerte }];
...
ListPlot[datalist2, PlotJoined->True]
```

Entwurf der Funktionswerkstatt (function factory) zur Anwendung der selbstgeschriebenen Mathematica-Funktionen am Beispiel der *ListPlot*-Funktion

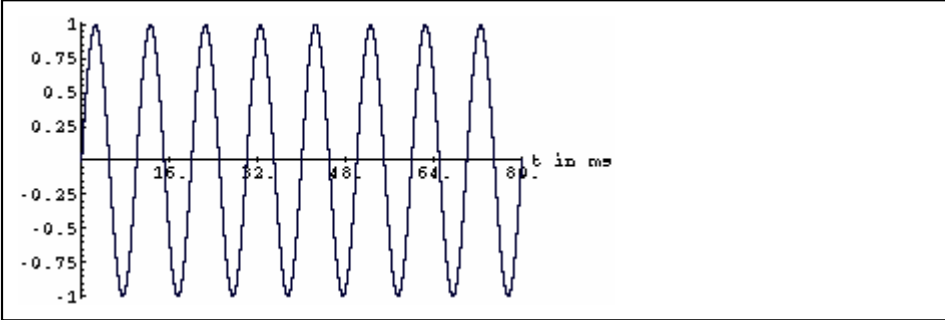
**Funktionswerkstatt**

Funktionsname:

tastfrequenz:

signaldata:

Ergebnis:



Name:



# Thesen

1. Der Einsatz von Lernsoftware soll das Lehren und Lernen unterstützen und Vorteile für Lehrende und Lernende liefern.
2. Eine Lernumgebung sei einerseits ein Lern-/Lehrsystem, welches Lernmaterialien (Informationen, Aufgaben, Übungen, Werkzeuge, Hilfen) für den Lernenden bereitstellt und in dem er sich relativ frei bewegen und agieren kann; andererseits sei darunter ein softwaretechnisches Konzept verstanden, das Informationen, Lernmaterialien und Nutzerdaten verwaltet und anbietet und eine Organisationsstruktur integriert, so dass ein komplexes und flexibles System entsteht.
3. Interaktivität gilt als wohl bedeutendste Eigenschaft von Multimedia und Hypermedia und teilt ihr eine Schlüsselrolle bei der Individualisierung des Lernprozesses als wichtigste didaktische Komponenten im computerunterstütztem Lernen zu.
4. Die Lernumgebung „Virtuelles Praktikum für die Signal- und Mustererkennung“ stellt eine offene web- und browserbasierte, interaktive Lernumgebung dar, die das Lernen nach konstruktivistischen Prinzipien ermöglicht.
5. Die webbasierte Lernumgebung vPSM bietet verschiedenste multimediale Komponenten und Inhalte, die sich für das Selbststudium – auf der Basis selbstgesteuerten, explorierenden Lernens, zur Ergänzung von Lehrveranstaltungen und zur Durchführung von Praktika mit virtuellen Geräten einsetzen lassen.
6. Mit einer webbasierten Lernumgebung wird eine plattformunabhängige, zeit- und ortsungebundene Nutzung ermöglicht. Der Nutzer hat keinen Installationsaufwand, muss keine Anwendungs- oder Programmiersprache erlernen und kann stets mit den aktuellen Materialien arbeiten, ohne dass für ihn ein zusätzlicher Beschaffungsaufwand entsteht.
7. Die praktische Ausbildung im Labor ist ein Kernbestandteil der Ingenieurausbildung.
8. Ein virtuelles Praktikum kann den Lernprozess wesentlich unterstützen und erlaubt bei der realen Praktikumsdurchführung das Augenmerk auf die inhaltlichen Problemstellungen zu konzentrieren. Es ersetzt niemals die praktische Erfahrung.
9. Die virtuellen Geräte der Lernumgebung vPSM vereinen funktionsverwandte Algorithmen in Form von Softwaremodulen, die kontextunabhängig innerhalb der Lernumgebung eingesetzt werden können.
10. Bei der Gestaltung und Realisierung der virtuellen Geräten liegt der Schwerpunkt auf der Bereitstellung der dem realen Gerät äquivalenten algorithmischen Funktionsweise, nicht auf der detailgetreuen visuellen Nachbildung.

11. Akustische Signale vorwiegend aus technischen Geräuscherkennungsaufgaben bilden die Basis für die Praktikumsaufgaben.
12. Die akustische Kontrolle in Einheit mit der visuellen Veranschaulichung der Signale stellt einen wesentlichen Qualitätssprung bei der Wissensvermittlung in der Signalverarbeitung und einen wichtigen Aspekt bei der didaktischen Vermittlung signaltheoretischer Zusammenhänge dar.
13. Der Informationspool, der virtuelle Vorbereitungsraum und der virtuelle Praktikumsraum stellen die wesentlichen Einsatz-Szenarien der Lernumgebung vPSM dar mit den Schwerpunkten: Informieren und Lernen, Üben und Anwenden sowie Entdecken und Erweitern.
14. Die virtuellen Geräten sind zur Lösung von Übungs- und Praktikumsaufgaben und zur Bearbeitung eigener Frage- und Problemstellungen einsetzbar. Vor diesem Hintergrund ist der Einsatz für eigenständige experimentelle Untersuchungen und Forschungszwecke denkbar und ausdrücklich erwünscht - explorierendes Lernen wird angeregt und unterstützt.
15. Anhand synthetischer und realer Signale können die komplexen theoretischen Sachverhalte der Signal- und Mustererkennung anschaulich erprobt und anschließend auf praxisrelevante Probleme angewandt werden.
16. Das Experimentieren wird durch die Verarbeitung und Nutzung eigener Datensätze angeregt.
17. Zur Vermittlung der signalverarbeitenden und mustererkennenden Sachverhalte ist ein System notwendig, welches die Darstellung der komplexen mathematischen und der physikalischen Grundlagen anschaulich ermöglicht.
18. Der Einsatz computerbasierter Ingenieurwerkzeuge, wie z.B. CAS und CAD, bereiten die Studierenden auf ihre spätere Berufspraxis vor.
19. Die Integration professioneller Softwaretools (z.B. Mathematica) erlaubt eine schnelle und sichere Implementierung komplexer Algorithmen, Simulationen und vielfältigster Präsentationsobjekte (Bild, Ton, Animation).
20. Mathematica ist für die Lernumgebung vPSM aufgrund seiner Kernel-Notebook-Technologie und der bereitgestellten Schnittstellen zur Nutzung der komplexen Mathematica- und eigener Funktionsbibliotheken das geeignete CAS.
21. Eine Datenbank ist für die Verwaltung und Organisation verschiedenster anwendungsspezifischer Daten (Nutzerdaten, -rechte und -rollen, Signaldaten, Aufgaben und Nutzerergebnisse) erforderlich.

22. Die Lehrenden können leicht neue Aufgaben erstellen. Eine Template Engine ermöglicht eine datenbankgetriebene Aufgabenerstellung und befreit den Aufgabenautor von überflüssigen infrastrukturellen Kenntnissen. Er kann sich ausschließlich auf die Inhalte konzentrieren.
23. Einmal erfasste Aufgabeneinheiten und Aufgabenkomponenten (z.B. Texte, Bilder, Animationen, Signale) können wiederverwendet, variabel kombiniert und in beliebig komplexen Aufgabenpaketen zusammengestellt werden.
24. Um die gesamten Lehrinhalte der Signal- und Mustererkennung abzudecken, sollen die Inhalte, virtuellen Geräte und Experimentierumgebungen erweitert und ausgebaut werden.
25. Zur Stärkung des Praxisbezugs sollen die praktischen Experimentiermöglichkeiten und deren Einbindung in die Lernumgebung weiterentwickelt werden. Die Realisierung einer ferngesteuerten und –überwachten (webbasierten) Versuchsdurchführung in Form eines *remote lab* bedarf weiterer Forschungen und Entwicklungen.